

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DISEÑO DE BIOFILTROS PARA MEJORAR EL MANEJO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Rosa Magaly Vergara Tineo

Asesor:

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca - Perú

2021



DEDICATORIA

A mis padres Juan y Margarita por su confianza, sus consejos y por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por permanecer a mi lado en todo este proceso de estudio y por ser parte fundamental de mi motivación.

A mis hermanos Juan y Jorge que siempre me dieron sus ánimos y valor para seguir adelante, Juan quien cada día, en cada llamada me brindaba su confianza y sus ánimos para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de corazón a Dios por permitirme seguir adelante en el cumplimiento de mis metas, a mis padres por el apoyo dedicado en este tiempo, mis hermanos a Eliseo por estar en todo este tiempo brindándome su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Antecedentes.....	10
1.3. Definición de términos	12
1.4. Formulación del problema.....	30
1.5. Objetivos.....	30
1.6. Hipótesis	31
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	32
2.1. Tipo de investigación	32
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	32
2.2.1. Población	32
2.2.2. Muestra	32
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	35
2.4. Procedimiento	37
2.5. Aspectos éticos	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	41
3.1. Eficiencia de los biofiltros.....	41
3.2. Identificación de los parámetros físico-químicos	42
3.3. Diseño de biofiltro.....	48
3.4. Plan de mantenimiento para sistemas de biofiltros.....	52
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
4.1. Discusión	55
4.2. Conclusiones.....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXO 1. Matriz de Consistencia.....	65
ANEXO 2. Instrumento de Recolección de Datos. Lista de Verificación.....	66
ANEXO 3. Resultados del análisis de plagio.....	67
ANEXO 4. Instrumento de Recolección de Datos. Ficha Resumen para Leyes Nacionales sobre Tratamiento y Manejo de Aguas Residuales.....	68
ANEXO 5. Instrumento de Recolección de Datos. Ficha Resumen de Ventajas y Desventajas de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales.....	68
ANEXO 6. Plano trampa de grasa, lamina A-01.....	69

ANEXO 7. Plano de tanque séptico, lamina A-02.....	70
ANEXO 8. Plano de tanque séptico, lamina A-03.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Datos referenciales sobre trampa de agua y tanque séptico en un sistema de biofiltros</i>	29
Tabla 2. <i>Modelo referencial para determinar el caudal del efluente del biofiltro.</i>	30
Tabla 3. <i>Materiales.</i>	34
Tabla 4. <i>Recolección de información.</i>	35
Tabla 5. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</i>	35
Tabla 6. <i>Instrumentos de recolección de datos. Fases de recolección y análisis de datos.</i>	36
Tabla 7. <i>Información sobre biofiltros consultada</i>	38
Tabla 8. <i>Eficiencia de biofiltro de plantas de <i>Cyperus papyrus</i>, <i>Alocacia macrorrhiza</i> - <i>Lombrifiltro.</i></i>	41
Tabla 9. <i>Eficiencia de biofiltro utilizando piedra pómez.</i>	42
Tabla 10. <i>Eficiencia del biofiltro utilizando turba.</i>	42
Tabla 11. <i>Eficiencia de biofiltro de plantas de cabuya y eucalipto.</i>	43
Tabla 12. <i>Efectividad de los principales biofiltros consultados en la revisión sistemática.</i>	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedales artificiales para la depuración de aguas residuales de un centro escolar (Sidwell Friend School, Washington, D. C.). MON Arquitectura y Biología (2013).....	15
Figura 2. Vista panorámica del Biofiltro de Masaya Water Sanitation Program, (2006)	15
Figura 3. Componentes del biofiltro Water and Sanitation Program, (2006)	18
Figura 4. Clasificación de los biofiltros y/o humedales artificiales MON Arquitectura y Biología (2013).....	19
Figura 5. Biofiltros y/o humedales de flujo libre (FL). Salas, (2018)	19
Figura 6. Biofiltros y/o humedales de flujo subsuperficial horizontal (FSSH) Salas, (2018).....	21
Figura 7. Esquema general de los filtros plantados de flujo vertical (FSSV): Quispe, (2018).	22
Figura 8. Hábitat de las principales macrofitas, adaptado de Zurita & Alarcón-Herrera, (2016).....	23
Figura 9. Clasificación de las aguas residuales. Adaptación Raschid-Sally y Jayakody (2008), de OEFA (2014)	27
Figura 10. Las aguas residuales en el ciclo del agua WWAP (2017).....	28
Figura 11. Sistema de filtrado basado en biofiltro propuesto.	28
Figura 12. Operadores Booleanos (2012)	36
Figura 13. Operadores Booleanos utilizados en el presente trabajo.	37
Figura 14. Proceso de recolección de información.....	40
Figura 15. Meta-análisis DBO ₅	45
Figura 16. Meta-análisis DQO	46
Figura 17. Meta-análisis SST	47
Figura 18. Se muestra el detalle del diseño de la trampa de grasa.	48
Figura 19. Perfil del detalle de la trampa de grasa. Según la norma IS.020 (2012).....	49
Figura 20 . Planos de planta del detalle del tanque séptico.....	50
Figura 21. Corte del detalle del tanque séptico	50
Figura 22. Corte del detalle del tanque de biofiltro con plantas acuáticas.....	51
Figura 23. Planos de planta del detalle del tanque de biofiltro	51
Figura 24. Corte del detalle del tanque de biofiltro con astillas de eucalipto y cabuya.....	52
Figura 25. Flujograma de mantenimiento preventivo de trampa de grasa.....	52
Figura 26. Flujograma de mantenimiento preventivo de tanque séptico	53
Figura 27. Flujograma de mantenimiento preventivo de biofiltro.....	54

RESUMEN

La presente investigación se realizó planteándose como objetivo general proponer un diseño de sistema de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas, la investigación fue de tipo, no experimental, descriptiva, basándose en la técnica de revisión documental con fichas de resumen y listas de verificación para la recolección de datos. Para ello se ha realizado una revisión sistemática de diseño de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas como propuesta para minimizar el vertido de contaminantes a los cauces naturales de agua. La búsqueda se realizó en junio del 2020 en las siguientes bases: CINAHL, CUIDEN, IBECs, LILACS, Pubmed, Proquest, Psycinfo, Scielo, Scopus y Google académico. Siguiendo los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 20 estudios de los cuales predomina la eficiencia de los biofiltros, donde se logra evaluar la capacidad de remoción de los siguientes parámetros; Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) es igual 96%, en sólidos suspendidos totales (SST) igual 90%, los cuales corresponde al biofiltro de flujo o sistemas de plantas de libre flotación (FL), también se obtuvo la Demanda Química de Oxígeno(DQO) igual 91%, y en Fosforo total(Pt) igual 89.37%, los que corresponden al sistema de flujo horizontal-Lombrifiltro.

Palabras clave: Sistema de filtrado, aguas residuales, contaminación

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según datos de la ONU (2015), alrededor del mundo un estimado de 4 billones de personas no tiene acceso a servicios básicos de saneamiento, lo cual influye significativamente en la proliferación de enfermedades diarreicas y de corte gastrointestinal, donde hasta 1000 niños mueren cada día. Perú no es ajena a esta situación y sobre todo en los poblados rurales donde el manejo de las aguas residuales es precario. Por esta razón, el empleo de biofiltros para mejorar la situación de salubridad en comunidades o en la disposición a ríos y otros cuerpos de agua será crucial para mejorar la calidad de vida de las personas y para preservar la calidad del agua. Las aguas residuales domesticas constituyen un efluente altamente contaminante para los ríos principales, las cuales en su mayoría son vertidas directamente sin recibir ningún tipo tratamiento. No obstante, para Ponce, Ramos, Días, y Valles, (2016) consideran que la aplicación de los biofiltros como tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas, son una alternativa viable para minimizar los efectos nocivos que ocasionan los vertimientos de aguas servidas sin tratar a los ríos y mares. Por su parte, Figueroa, (2015) señalan que este tipo de tecnología se pueden aplicar como tratamiento alternativo para las aguas residuales dependiendo de su nivel de contaminación, de forma que permitan depurar el agua hasta el punto de tener las características y propiedades físicas, químicas y biológicas que permitan su disposición en los diferentes cuerpos de agua tales como quebradas, cuencas, ríos, mares entre otros.

La OEFA (2014) reglamenta que las aguas residuales sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente contaminan los cuerpos de agua natural. A su vez, por infiltración en el subsuelo contaminan las aguas subterráneas, por lo que se convierten en focos infecciosos para la salud de las poblaciones, así como para la flora y fauna del lugar, Campos (2017). Sin embargo, a pesar de las bondades técnicas antes descritas, en nuestra región no se

dispone de información sobre biofiltros menos existen evaluaciones sobre el diseño de biofiltros enfocados en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Teniendo en cuenta dichas consideraciones en la presente investigación se trata de evaluar estas variables, tomando en consideración los modelos que se tiene en consultas bibliográficas.

1.2. Antecedentes

A nivel Nacional

Según Romero (2016). “Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha-Colombia” concluye. El Plan de funcionamiento del sistema debe contemplar diferentes actividades esto con la finalidad de que el funcionamiento del sistema de biofiltros sea óptimo y eficiente, se debe controlar el caudal en el instante en que se note un aumento en las precipitaciones, esto se puede hacer ubicando para cada vertimiento canales para medición por los lados del biofiltro o humedal artificial lo que evitará que se presente una sobresaturación del volumen de agua o inundación; de igual manera es importante que la limpieza de la rejilla a diario, lo que evitará taponamientos por la presencia de material de gran tamaño y residuos que causen dicha situación.

Al respecto Núñez (2016), en su investigación “Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal, Mediante la Especie Micrófito Emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro)” siguió como objetivo general determinar la eficiencia de remoción de las aguas residuales domésticas mediante Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal. Como resultado de esta investigación se concluyó que existe una alta eficiencia en el tratamiento y control de la calidad del agua residual domestica mejorando las características físico-químicos y microbiológicos una vez el caudal realice todo el recorrido a través del humedal artificial, cumpliendo finalmente con los

parámetros establecidos por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINA (2017) y la modificatoria el Decreto Supremo N° 05-2015-MINAM (2017) tal que el agua resultante sea apta para riego de pastizales.

A nivel regional

Según Quispe (2018) en su tesis “Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho, Chosica” refiere: El primer sistema de biofiltro (SB1) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, Humedal Subsuperficial De Flujo Vertical (HSSFV) y Humedal Superficial (HS), y el segundo sistema de biofiltro (SB2) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, lombrifiltro y humedal superficial, empleando como vegetación a las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia micorriza* en el HSSFV, *Eichhornia crassipes* en el HS y *Eisenia foetida* en el lombrifiltro obteniendo como resultado que el sistema de biofiltro SB1 es el más eficiente en el tratamiento del agua residual, el cual está conformado por un canal de desbaste (pre tratamiento), un tanque séptico (tratamiento primario), un humedal subsuperficial y un humedal superficial (tratamiento secundario).

Por otro lado, el investigador Wong (2019), en su trabajo titulado “Tratamiento de aguas de la Laguna de Conache - Laredo” buscó determinar la efectividad del tratamiento de las aguas de la laguna de Conache - Laredo, para su uso en la acuicultura mediante un Humedal artificial de flujo horizontal con el fin de reducir las concentraciones de DBO_5 y metales pesados (Hg, Pb y As). Con su estudio concluyo que el empleo de esta tecnología resulta ser un método efectivo para el control del DBO_5 y la remoción metales pesados (Hg, Pb y As), logrando una especificación del agua adecuada para su uso en la acuicultura.

A nivel local

Según Chávez (2019). En su estudio “Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín” refiere: en el distrito de Celendín existen industrias lácteas que aún no implementan sistemas de tratamiento de efluente que les permita verter éstos a las corrientes de agua y/o a la red de alcantarillado evitando la contaminación de la misma por la alta carga orgánica que contienen. En el presente trabajo se ha realizado el tratamiento del efluente de una industria láctea en la ciudad de Celendín para lo cual se ha construido un biofiltro tipo Tohá de un metro cúbico de capacidad. El volumen de muestra para cada análisis ha sido de acuerdo a los protocolos correspondientes, tomadas de cada muestra de sesenta litros de agua residual proveniente de una industria láctea, de las cuales previamente se ha hecho la caracterización, antes de ingresarlo al biofiltro, y después de pasar por el mismo, obteniéndose una reducción en DQO del 92%, el cual es el parámetro principal de la investigación, pero también, se ha hecho el análisis de la DBO del cual se ha obtenido una reducción del 94%, aceites y grasas 96%, de sólidos sedimentables 96% y el oxígeno disuelto se incrementó en un 59%; esto nos indica las bondades del tratamiento con el biofiltro, para este tipo de industria, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales. Lo que nos permite recomendar este tipo de tratamiento para industria láctea a pequeña y mediana escala en nuestro medio.

1.3. Definición de términos

Humedales

Los humedales “son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él” Ramsar (2013, pág. 7), los cuales pueden ser de origen natural como pantanos, lagunas y manglares entre otros, así como artificiales entre los que se pueden nombrar estanques para cría de peces, embalses o piscinas de aguas residuales.

La importancia de estos sistemas para el entorno y quienes viven en sus cercanías es significativa, ya que, dentro de los mismos se producen interacciones físicas, químicas y biológicas entre el agua, el suelo, plantas, y demás seres vivos que hace de los mismos un elemento valioso. Referente a esto Ramsar (2006, pág. 12), pueden llegar a cumplir un importante rol ya que:

- ✓ Almacenan agua
- ✓ Controlan la erosión del suelo
- ✓ Depura las aguas
- ✓ Retiene nutrientes
- ✓ Retiene contaminantes
- ✓ Retienen sedimentos
- ✓ Favorece la agricultura por el mantenimiento de la capa freática y su retención de nutrientes.

Además, al considerar la función y valor de los humedales para la seguridad, bienestar y salud de sus habitantes y beneficiarios, ciertamente podemos afirmar que cumplen un rol fundamental para la naturaleza y seres vivos. Considerando estos argumentos Chapin, Folke y Kofinas (2017), también definen a los humedales como sistemas socio-ecológicos gracias a la interrelación de sus elementos y los beneficios que ellos ofrecen a los seres humanos.

En cuanto a los diferentes tipos de humedales se totalizan 42 tipos agrupados en 5 tipos principales: (Ramsar, 2013)

- **Marinos** (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral)
- **Estuarinos** (incluidos deltas, marismas de marea y manglares)
- **Lacustres** (humedales asociados con lagos)
- **Ribereños** (humedales adyacentes a ríos y arroyos)
- **Palustres** (es decir, “pantanosos” - marismas, pantanos y ciénagas)”

Luego, acorde con los criterios y estándares establecidos por Ramsar (2013), los diferentes tipos de humedales se pueden clasificar en una de las 3 categorías mostradas a continuación:

- ✓ **Marinos y costeros.**
- ✓ **Continetales.**
- ✓ **Artificiales.**

Humedales artificiales o biofiltros

Según Zhang, Y. (2010), Los primeros estudios científicos sobre el uso de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas servidas comenzaron a partir de la investigación realizada por el Instituto Max Planck en Alemania Occidental a principios de la década de 1950. La Dra. Käthe Seidel (Figura 2) fue la pionera en llevar a cabo los primeros experimentos utilizando plantas de humedales para el tratamiento de diferentes tipos de aguas servidas. Ella postulaba que las plantas (por ejemplo: *Schoenoplectus lacustris*) eran capaces de eliminar grandes cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas de las aguas servidas. Asimismo, tanto las bacterias y los metales pesados contenidos en dichas aguas se eliminan mediante el paso a través de las macrófitas.

Estos biofiltros están estructurados por “lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m), impermeabilizados y plantados con especies vegetales propias de zonas húmedas, como la caña (*Phragmites australis*), totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Typha angustifolia*)” Laya, Vera, Morales, Lopez, & Vidal (2014).

Los humedales artificiales sirven de “filtros o biofiltros” Salas (2018) tratando las aguas servidas mediante las “interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos y la vegetación” Al ser sencillos y de bajo costo, son de gran beneficio especialmente para comunidades rurales, aunque también pueden ser empleados en áreas urbanas. A continuación,

se muestran dos ejemplos de la aplicación de estos biofiltros tanto para su aplicación en zonas rurales como para áreas urbanas:



Figura 1. Humedales artificiales para la depuración de aguas residuales de un centro escolar (Sidwell Friend School, Washington, D. C.). MON Arquitectura y Biología (2013)



Figura 2. Vista panorámica del Biofiltro de Masaya Water Saniation Program, (2006) .

La condición artificial de estos sistemas está definida por características y condiciones como las nombradas a continuación:

- El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- El empleo de sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas.

Biofiltro

Los Biofiltros son sistemas de filtrados artificiales construidos como alternativa natural de tratamiento a las aguas residuales Rivera (2015). Su finalidad es beneficiar al medio ambiente, mediante la regulación del ciclo del agua, y dentro de sus principales funciones se encuentran según lo explican los autores Ponce, Ramos, Díaz y Valles, (2016) está su “función química que consiste en regular los nutrientes y descomponer la biomasa y su función biotecnológica consiste en regular la productividad biológica, estabilidad y retención de óxido de carbono”, caracterizada por ser una tecnología de bajo costo.

Para Ramsar (2013), los biofiltros son tecnologías limpias que sirven para el tratamiento de las aguas servidas, depurándolas de forma natural, utilizando humedales artificiales, donde el flujo de agua que hace contacto con las plantas y elementos naturales seleccionados y dimensionados “especialmente para imitar procesos naturales dentro de un ambiente controlado mejoran su calidad mediante procesos físicos, químicos y biológicos”. Obteniendo como resultado, la remoción de elementos contaminantes del agua mediante el tratamiento natural que luego puede ser dispuesta en cuerpos de agua de forma segura, o inclusive ser reutilizada.

No obstante, para Ponce, Ramos, Días, y Valles, (2016) consideran que la aplicación de los biofiltros como tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas, son una alternativa viable para minimizar los efectos nocivos que ocasionan los vertimientos de aguas servidas sin tratar a los ríos y mares. Por su parte, Figueroa, (2015) señalan que este tipo de tecnología se puede aplicar como tratamiento alternativo para las aguas residuales dependiendo de su nivel de contaminación, de forma que permitan depurar el agua hasta el punto de tener las características y propiedades físicas, químicas y biológicas que permitan su disposición en los diferentes cuerpos de agua tales como quebradas, cuencas, ríos, mares entre otros.

De esta forma, los biofiltros son un método eficiente para el tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente como expresa Rivera (2015), estos sistemas son de bajo costo, fácil

mantenimiento, y de excelente relación costo/valor con respecto a los sistemas convencionales, posicionándolos como una importante opción para el tratamiento de agua residual domésticas, especialmente como señala García y Corzo (2019), como la “mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas y medianas poblaciones” como los centros poblados rurales. Esta situación ha generado el interés de investigadores sobre las aplicaciones de estos sistemas.

Componentes un humedal artificial o biofiltro

Dentro de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal el proceso físico, químico y biológico se desarrolla mediante la interacción del agua residual y de los elementos que componen el biofiltro. Tal como lo explica el Water and Sanitation Program (2006), son 3 los elementos básicos que conforman el biofiltro:

Lecho filtrante: Sus funciones principales son eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollarán los microorganismos que se encargarán de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante, además de constituir el medio utilizado por las raíces de las plantas macrófitas para su fijación y desarrollo, (pág. 14).

Plantas acuáticas o de pantano: Las funciones que cumplen las plantas en los procesos de tratamiento de aguas residuales las convierten en componente esencial del biofiltro. Así, las raíces de las plantas ayudan a incrementar los efectos físicos tales como la filtración y el desarrollo de los microorganismos en su área superficial. La introducción de oxígeno en el lecho filtrante permite la formación de una población microbiana aeróbica en zonas cercanas a las raíces de las plantas, (pág. 14).

Microorganismos: El papel principal de los microorganismos es degradar aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno) la materia orgánica

contaminante contenida en las aguas residuales, con lo cual la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente. Los sólidos orgánicos suspendidos asociados con las aguas residuales entrantes se acumulan, pero son retenidos dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos son mineralizados por las bacterias. Los microorganismos también permiten la remoción de nitrógeno mediante el mecanismo de nitrificación–desnitrificación, (pág. 15).

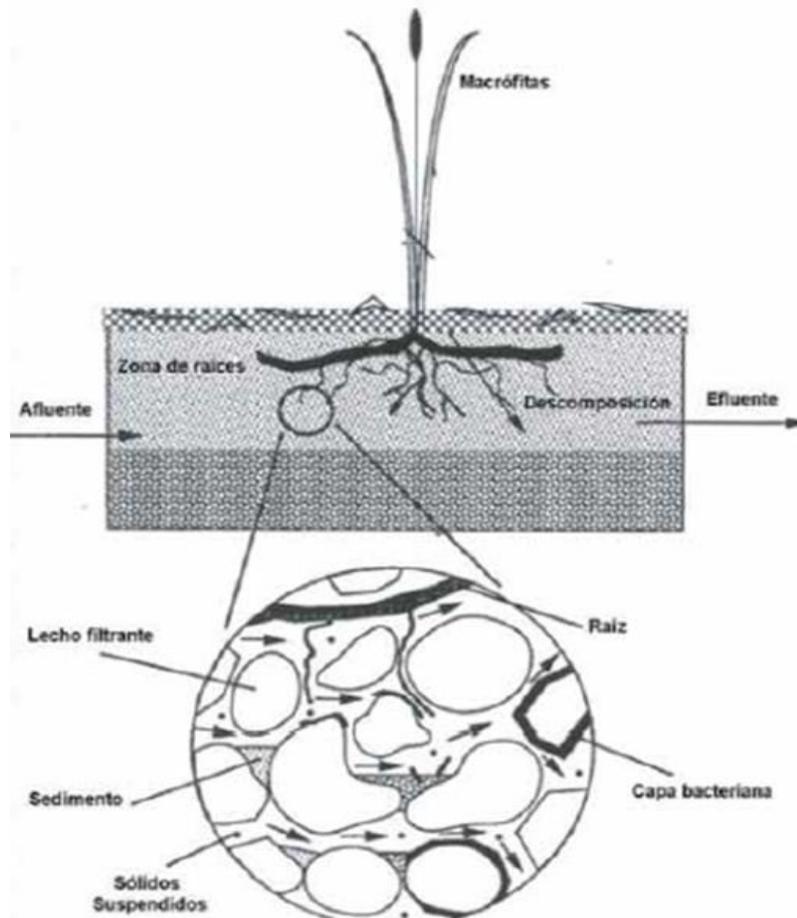


Figura 3. Componentes del biofiltro Water and Saniation Program, (2006)

Tipos de Humedal Artificiales o Biofiltros

El humedal artificial o biofiltro puede presentar diferentes distribuciones dependiendo de las características. Estas particularidades definirán el tipo de biofiltro en función si el agua es superficial o no, así como del afluente. En este sentido, la clasificación de estos humedales artificiales será en el tipo de “flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL), y humedales subsuperficiales o sistemas de plantas con raíces emergentes (FSS), que se dividen

a su vez en sistemas de flujo vertical (FSSV) y sistemas de flujo horizontal (FSSH)” Arteaga (2018) . La figura mostrada a continuación ilustra la clasificación de los biofiltros:

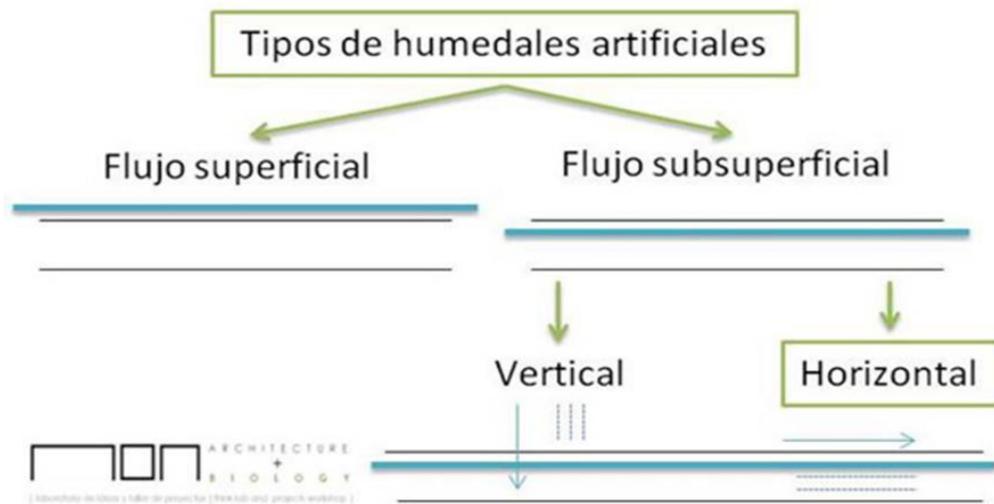


Figura 4. Clasificación de los biofiltros y/o humedales artificiales MON Arquitectura y Biología (2013).

- **Humedal de flujo libre (FL).**

En este tipo de biofiltro el afluente o agua residual fluye libremente de forma superficial en el sustrato en el cual se encuentran las raíces de la vegetación plantada, interactuando con las plantas, tallos, raíces y hojas. Según, Arteaga-Cortez, y otros (2007), generalmente son de construcción poco profunda (aproximadamente 0.5 metros) y constituidos por canales. Típicamente su efectividad de remoción logra, según Rodríguez (2003), el 96% para SST; 96% para DBO; 87% para DQO (demanda química de oxígeno), y 30% para PT (fósforo total).

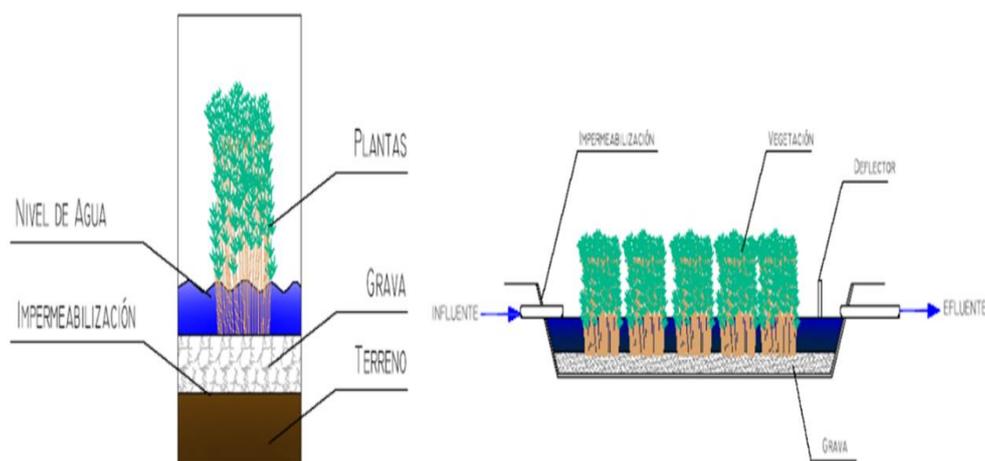


Figura 5. Biofiltros y/o humedales de flujo libre (FL). Salas, (2018)

- **Humedal de flujo subsuperficial, (HAFSS)**

Según, Bernal (2014) en trabajo de investigación señala que, Estos sistemas principalmente son canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular poroso, donde el agua fluye por debajo de la superficie del medio soporte, sembrado de plantas emergentes. La profundidad del medio en estos humedales FSS tiene un rango de 0,30 y 0,90 m, siendo el valor más común el de 0,60 m. (Lara, 1999) En el que son de poca profunda y contiene grava suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones. Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios de poros en la grava, como consecuencia, la ecología de los humedales no es un factor crítico en los sistemas de HAFSS. Pueden considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelículas sumergida” (Bayona, García, & Morató, 2004). Dado a estas características estos sistemas en combinación con otros procesos de depuración como por medio de macrófitas HAFSS son utilizados para tratar los efluentes de fosas sépticas y de sedimentación primaria y secundarios, los efluentes de laguna (Gil, 1999). (pág. 19)

- ✓ **Humedal de flujo subsuperficial horizontal (FSSH).**

En este tipo de biofiltro subsuperficial el agua corre de forma horizontal y generalmente continua. El agua residual circula a través del lecho filtrante de grava, arena o gravilla de aproximadamente 0.6 metros de espesor en el cual hacen contacto con las raíces y tallos de las plantas del humedal. Los biofiltros del tipo FSSH tienen “una alta remoción de materia orgánica, DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno medida a cinco días), DQO y sólidos suspendidos totales. Sin embargo, presentan una menor eliminación de nutrientes” (Salas (2018)

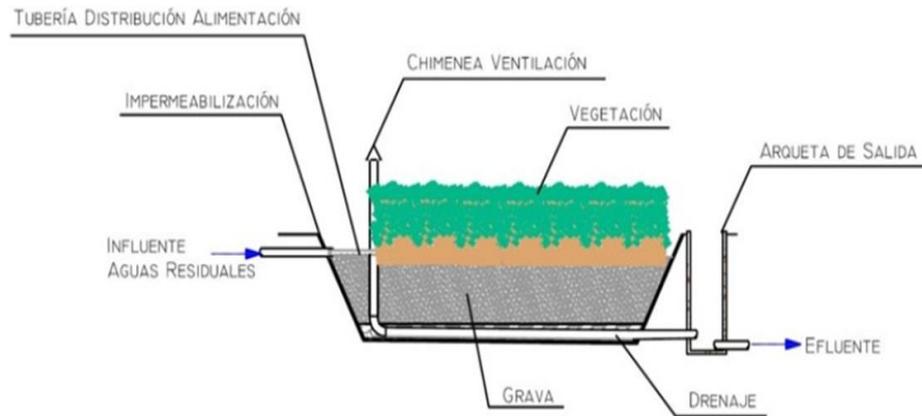


Figura 6. Biofiltros y/o humedales de flujo subsuperficial horizontal (FSSH) Salas, (2018).

✓ **Humedal de flujo subsuperficial vertical (FSSV).**

En los sistemas de flujo subsuperficial vertical la alimentación de agua residual se realiza de manera intermitente a través de unas tuberías aéreas o de surtidores que se sitúan encima del lecho de grava o arena. La profundidad del lecho suele ser de unos 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso experimentando un tratamiento físico (filtración), químico (oxidación) y biológico (biomasa fijada sobre soporte fino) y se recogerá en una red de drenaje situada en el fondo del lecho. La frecuencia de aplicación del agua residual se ha de calcular de manera que no quede agua en superficie procedente del riego anterior, Quispe (2018).

Esta forma de gestionar el filtro favorece la entrada de oxígeno al interior del lecho filtrante, mediante el flujo pistón que se produce, ya que la lámina de agua procedente del riego empuja el aire que había entrado previamente al sistema y al mismo tiempo deja un espacio vacío detrás que se llenará también con aire. La aportación de oxígeno por las raíces de las plantas es, en este caso, despreciable, Quispe (2018)

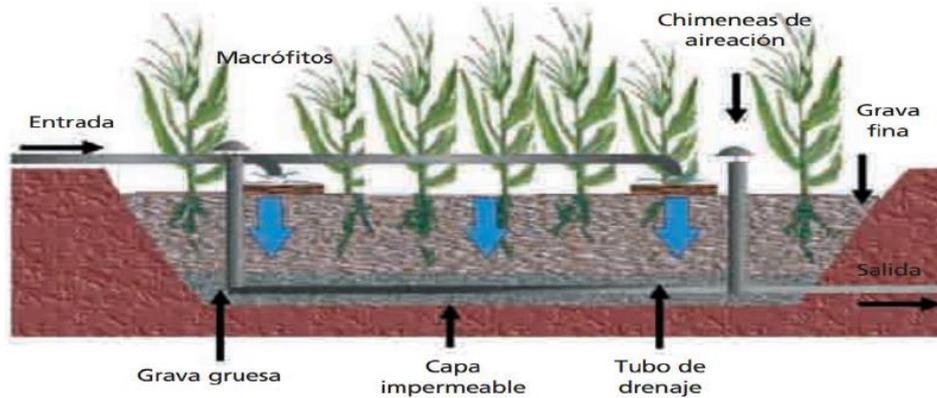


Figura 7. Esquema general de los filtros plantados de flujo vertical (FSSV): Quispe, (2018).

Clasificación basada en el tipo de planta predominante.

Biofiltros con macrófitas flotantes incluyen plantas como el lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*). En cuanto a la reducción de sólidos se lleva a cabo por precipitación, además se provoca la retención en la sección radicular de las especies vegetales. Las plantas en mención presentan un alto contenido de Nitrógeno y Fósforo en sus tejidos, lo que las convierte en especies eficientes para reducir el nivel de nutrientes.; las macrófitas sirven como filtro para optimizar los procesos físicos de separación de partículas, Valdés (2015).

En su hábitat natural, las macrófitas se encuentran formando asociaciones en la orilla e interior de los lagos. Estas asociaciones están relacionadas con zonas de colonización, las que a su vez están íntimamente relacionadas con el nivel de agua y la topografía, por lo que de acuerdo a su morfología, las macrófitas pueden clasificarse como flotantes libres, sumergidas o arraigadas con hojas flotantes, y emergentes. Estas formas de vida vegetal coexisten y algunas hasta crean condiciones favorables para el establecimiento de otras (Zurita y Alarcón-Herrera, (2016).

A continuación, se describe la clasificación de macrófitas según; Curt (2015).

- **Plantas Libres Flotantes:** Son aquellas cuyo cuerpo vegetativo flota total o parcialmente, pudiendo estar también bajo la superficie del agua.

- **Plantas Sumergidas:** Son aquellas especies cuyo cuerpo vegetativo está inmerso en el agua, y están arraigadas al sustrato. Las flores y hojas pueden flotar en la superficie del agua.
- **Plantas Natantes:** Son aquellas plantas sumergidas y arraigadas al sustrato, cuyas hojas largamente pecioladas flotan sobre la superficie del agua.
- **Plantas Emergentes:** Son aquellas que poseen gran parte del cuerpo vegetativo fuera del agua, pero las raíces y parte de tallos y hojas se encuentran sumergidas.

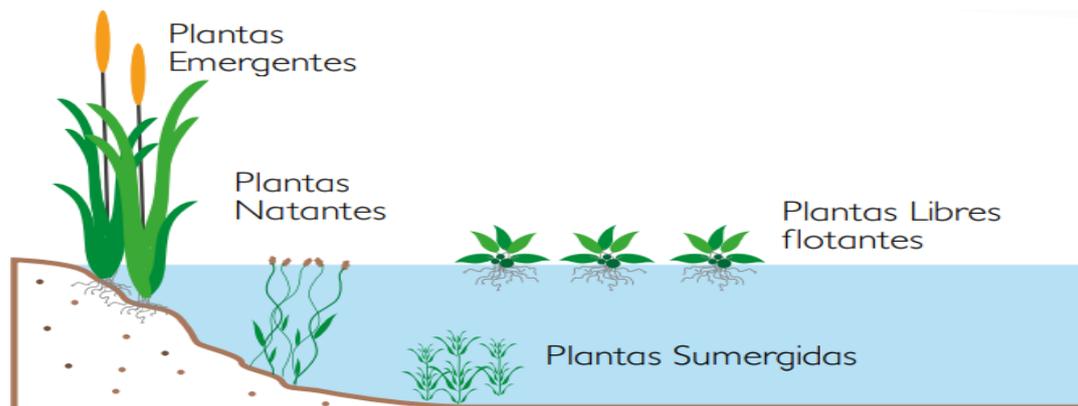


Figura 8. Hábitat de las principales macrofitas, adaptado de Zurita & Alarcón-Herrera, (2016)

Mecanismos de Remoción de Contaminantes

- **Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), como se había mencionado antes, es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua.

La remoción de materia orgánica en los sistemas de humedales artificiales es sedimentada mucho más rápido, debido a que estos presentan un flujo laminar, permitiendo una conductividad hidráulica lenta. Esta materia orgánica es descompuesta en medios aerobios y anaerobios dependiendo del oxígeno disponible, la actividad biológica puede ser aerobia cerca de la superficie libre o la interfase agua aire, sin embargo, prevalece la actividad anaeróbica en el resto del sistema (Lara, 1999; Agreda, 1998), Mena (2014)

Eficiencia de remoción de DBO₅. La eficiencia en disminución de DBO₅ particulado, en sistemas de flujo subsuperficial se efectúa rápidamente por procesos de sedimentación y

filtración en el medio poroso o sustrato; en sistemas de flujo superficial predominan los procesos de sedimentación y floculación, Mena (2014)

Los resultados obtenidos en estudios, demuestran que mediante el uso de plantas acuáticas flotantes se pueden lograr buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, con cargas orgánicas altas, siendo *Eichornia crassipes* la planta más eficiente, logrando remociones hasta del 70% en DBO_5 , con tan solo un día de tiempo de retención hidráulica (Lara, 1999), Mena (2014)

- **Remoción de Fósforo** Según, Rincón y Millán (2013) en su estudio realizado se ha encontrado que la remoción de fósforo en los humedales artificiales no es muy alta, debido a que no hay mucho contacto entre el agua y el suelo, por lo que se ha optado en algunos casos en cambiar la grava por arena o tierra, lo que disminuye la velocidad de flujo y aumenta el tiempo de retención. (pág. 28)

La eliminación de nutrientes como el fósforo por ejemplo, es bajo en todos los tipos de humedales, por lo cual es un objetivo importante su remoción para el correcto funcionamiento del humedal (Vymazal & Brezinova, 2014), Pazán y Trelles (2018)

Eficiencia de remoción de fósforo. El fósforo (P) se encuentra en las aguas residuales en formas orgánicas e inorgánicas, principalmente como $H_xPO_4^{-(3-x)}$, cuyos principales derivados son el fosfato PO_4^{3-} , el fosfato monoácido HPO_4^{2-} y el ácido fosfórico H_3PO_4 que componen el 80% del total de las formas en las que se encuentra el P en aguas residuales de tipo doméstico (Drizo, et al. 1997). Mena (2014)

- **Remoción de Nitrógeno** El nitrógeno tiene un ciclo biogeoquímico complejo con múltiples transformaciones bióticas y abióticas. Estas incluyen una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos de nitrógeno que son formas esenciales para todos los procesos biológicos. En fase acuosa, en este caso los humedales, las especies de nitrógeno mayoritarias son: el amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-). En fase gaseosa las especies de nitrógeno

pueden existir como N_2 , óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO_2 y N_2O_4) y amoníaco (NH_3) en medios aerobios (Vymazal, 2007), Mena (2014)

Se tiene una eficiencia de eliminación de nitrógeno mejor en los humedales de flujo superficial debido a la volatilización que se genera en la superficie libre. En cuanto a los de flujo subsuperficial no se puede asegurar que la volatilización sea de total ayuda para generar de forma correcta este proceso (Vymazal, 2010), Pazán y Trelles (2018)

Es importante tener en cuenta, en el aspecto de diseño, que para la eficiente nitrificación se debe tener una profundidad del humedal igual a la potencial penetración de las raíces para que se tenga la transferencia de oxígeno atmosférico adecuada (Estrada, 2010), Pazán y Trelles (2018)

- **Sólidos Suspendidos** Se ha demostrado que los humedales pueden reducir de una manera significativa los sólidos suspendidos, por mecanismos básicos como sedimentación, precipitación química, adsorción e interacciones microbianas (Londoño Cardona & Marín Vanegas, 2009). Para mantener una eficiencia de remoción alta de sólidos suspendidos es importante mantener una alta densidad de plantas y escoger bien el lecho filtrante, manteniéndolo entre 10 y 15mm, Rincón & Millán (2013).

Los sólidos suspendidos son removidos por sedimentación y filtración, estos procesos son puramente físicos y también contribuyen a la eliminación de otros contaminantes presentes en las aguas residuales. (Lara, 2009) Sustenta que la grava tiene la habilidad de mejorar la calidad del efluente mediante la fijación de sólidos suspendidos y la formación de biopelículas bacterianas, Rincón & Millán (2013).

Características y parámetros de las aguas residuales

Aguas residuales.

Las aguas residuales también conocidas como aguas servidas son “aquellas procedentes de procesos productivos o actividad humana” RAE (2020) estando compuestas según lo expresado

por Báez (2004), por la suma de las aguas servidas domésticas (efluentes provenientes de residencias, instituciones educativas, y comercios entre otros), aguas servidas industriales (efluentes provenientes de grandes empresas, fabricas e industria en general), y por el agua de lluvia, que finalmente terminan en el sistema de alcantarillado.

Por su parte, en Perú el Ministerio de Ambiente a través de la OEFA (2014), se refiere a las aguas residuales como aquellas que se han visto transformadas sus características originales como consecuencia de la actividad humana sea esta de carácter doméstico o industrial, y que no es apta para consumo humano, disposición en cuerpos naturales de agua o para reúso, si no es sometida a un proceso de tratamiento OEFA (2014). Más específicamente, estas se pueden clasificar según lo descrito por la OEFA (2014), y los autores Araya, Pesante, Vera y Vidal (2014) de la siguiente forma:

Aguas residuales domésticas: aguas negras (desechos biológicos humanos como orina y excremento) y aguas grises (efluentes de lavado y baño); agua de comercios e instituciones, y hospitales, entre otros.

Aguas residuales industriales: provenientes de procesos industriales como minería, agroindustrial, energía, entre otros, con producción de contaminantes como metales pesados, productos químicos e hidrocarburos entre otros.

Aguas residuales de origen pluvial: corrientes de lluvia urbanas, así como, corrientes agrícola, acuícola y hortícola.

Aguas residuales de origen municipal: estas están compuestas de la mezcla de las aguas residuales de origen doméstico y pluvial.



Figura 9. Clasificación de las aguas residuales. Adaptación Raschid-Sally y Jayakody (2008), de OEFA (2014)

Por otro lado, las aguas residuales sin importar su origen, hacen parte activa del ciclo del agua tal como lo muestra la figura 10. En esta se puede apreciar como las aguas residuales que no son tratadas tanto de origen doméstico como industrial, así como, las escorrentías urbanas y agroindustriales influyen negativamente sobre los mares, océanos, aguas superficiales en general, aguas subterráneas, y en las actividades agropecuarias causando efectos negativos en diferentes dimensiones:

- **Salud:** disminución y/o contaminación del agua potable, aumento de enfermedades de corte diarreico y gastrointestinal, aumento de mortalidad, contaminación de alimentos.
- **Entorno:** daño a la biodiversidad, contaminación del medio ambiente, afectación de lugares turísticos, aumento de temperatura del agua.
- **Economía:** afectación de la actividad industrial, multas, disminución de actividad agropecuaria y de la pesca, disminución del turismo, mayor costo del tratamiento del agua.

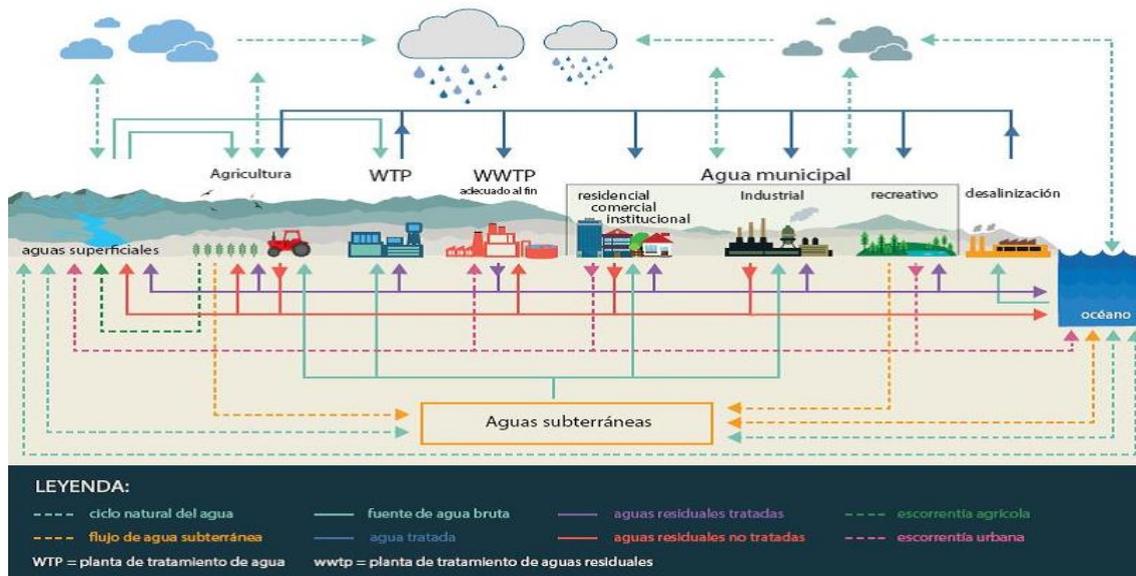


Figura 10. Las aguas residuales en el ciclo del agua WWAP (2017).

Diseño de un sistema de biofiltros

- ✓ El sistema consistirá de una etapa de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.
- ✓ El pretratamiento será realizado con una trampa de grasa.
- ✓ El tratamiento primario se realizará mediante tecnología convencional empleando un tanque séptico.
- ✓ El tratamiento secundario se realizará mediante tecnología no convencional empleando un humedal artificial (biofiltro) de flujo subsuperficial horizontal (FSSH).
- ✓ El biofiltro deberá emplear preferiblemente plantas propias de la zona de implantación.
- ✓ Considerando que la capacidad máxima del tanque séptico es según la IS.020 2012.

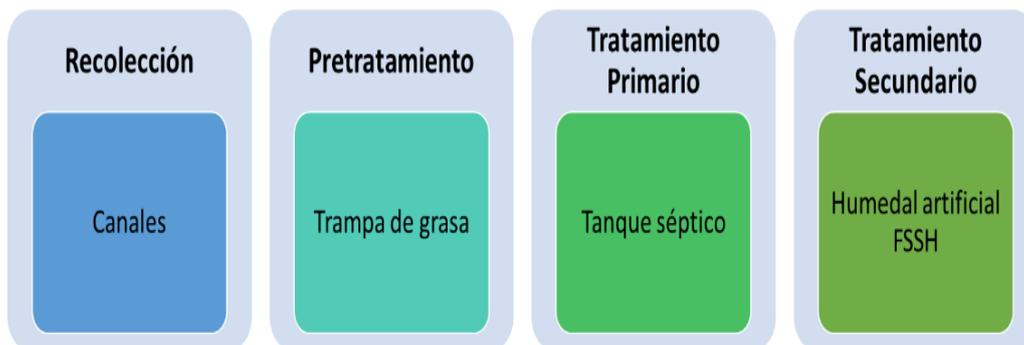


Figura 11. Sistema de filtrado basado en biofiltro propuesto.

Tablas de diseño

Según Romero (2016) en su libro “tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño”, refiere las condiciones técnicas de un sistema de biofiltros que se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1

Datos referenciales sobre trampa de agua y tanque séptico en un sistema de biofiltros

Datos referenciales sobre trampa de agua y tanque séptico en un sistema de biofiltros.								
Rejillas De Barras: Simple De Limpieza Manual								
Espacio entre rejillas			Sección transversal rectangular de las barras			Inclina ción de la barras	Longitud (m)	Ancho (m)
Punto de vertimiento	Tipo de rejilla	Espaciamiento		Sección				
		Pulgadas	Milímetros	mm x mm	Pulg x Pulg			
1	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2.5	0.7
2	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2	0.7
3	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	1.6	0.7
4	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2	0.7
5	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2	0.7
6	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2	0.7
7	Fina	3/8 a 3/4	10 a 20	10 x 40	3/8 a 11/2	50°	2.5	0.7

Trampa Del Agua Para El Paso Al Tanque Séptico							
Punto de vertimiento	PLACA PARA EL PISO			PLACA PARA EL PISO			Volumen del concreto (m ³)
	Espesor (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	
1	0.1	2.5	0.5	2.5	0.6	0.1	0.275
2	0.1	2	0.5	2	0.6	0.1	0.22
3	0.1	1.6	0.5	1.6	0.6	0.1	0.176
4	0.1	2	0.5	2	0.6	0.1	0.22
5	0.1	2	0.5	2	0.6	0.1	0.22
6	0.1	2	0.5	2	0.6	0.1	0.22
7	0.1	2.5	0.5	2.5	0.6	0.1	0.275

Fuente: (Romero, 2016)

Tabla 2

Modelo referencial para determinar el caudal del efluente del biofiltro.

Modelo referencial para determinar el caudal del efluente del biofiltro						
Cálculo de caudal						
Distancia (m)		Tiempo (s)	Velocidad m/s			
1		450	0.002			
AREA (m ²)	DEL	Velocidad	Coeficiente	de	Caudal m ³ /s	Caudal (Q) m ³ /d
VERTIMIENTO		m/s	fricción del suelo			
0.037		0.002	0.8		0.0000592	5.11
Capacidad del tanque séptico						
Caudal (Q)		5.1	m ³ /d			
Tiempo de retención		1	Día	24	horas	
Capacidad del tanque		5.1	m ³		5115	litros
Cantidad de tanque sépticos		3	(2000L)			

Fuente: (Romero, 2016)

De la tabla 2 se deduce que tanto el caudal como la velocidad del biofiltro deben ser bajo de tal manera que la biofiltración sea más eficiente.

1.4. Formulación del problema

¿De qué manera el diseño del sistema de biofiltros mejora el manejo de las aguas residuales domésticas?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de los biofiltros en el manejo de aguas residuales a través de un sistema de biofiltración para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas.
- Identificar los parámetros físico – químicos (DBO₅, DQO, SST) en un sistema de biofiltración para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas.

- Sugerir un plan de mantenimiento para sistemas de biofiltros en el manejo de aguas residuales domésticas.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El diseño e implementación de un sistema de biofiltros mejorara la calidad en el manejo de las aguas residuales domésticas.

1.6.2. Hipótesis específicos

- La eficiencia en el uso de biofiltros permite el mejor manejo de aguas residuales domésticas.
- El diseño de un biofiltros permite mejorar los parámetros físico – químicos del agua.
- Proponer la elaboración y el desarrollo de un plan de mantenimiento para la conservación del sistema de biofiltros y de esta manera propiciar la sostenibilidad a largo plazo.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

El siguiente trabajo de investigación es de tipo no experimental - descriptiva, ya que se realizó una recopilación de información documental en base a la eficiencia del uso de los biofiltros en el tratamiento de aguas. Según, Hernández, Fernández y Baptista (2014). Son Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos, (pág. 152).

Según, Hernández, Fernández y Baptista (2014) son, diseños transeccionales descriptivos. Indagan la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, son estudios puramente descriptivos (pág. 155) Por lo tanto este tipo de investigación nos otorga las pautas para la recopilación de datos que nos guiaran para el desarrollo del presente trabajo.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Según, Hernández, Fernández y Baptista (2014) es el Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (pág. 174) Por lo tanto, la población está dirigida en base a las revisiones documentales previas (tesis, página Web, leyes, documentos legales, informes, revistas) que tienen en común el estudio de la eficiencia de los biofiltros en el tratamiento de agua residuales domésticas, para el presente estudio fueron: 66 tesis, 22 libros, 10 revistas científicas, 15 normas legales y decretos y 5 medios electrónicos.

2.2.2. Muestra

Según, Hernández, Fernández, y Baptista (2014) En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador, (pág. 175)

Al respecto se eligieron veinte estudios con las mismas características relacionadas a eficiencia de los biofiltros en el tratamiento de aguas residuales domésticas, son:

E-bio1. Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica.

E-bio2. Efecto de un biofiltro de piedra pómez en la remoción del material orgánico del efluente agroindustrial Casa grande.

E-bio3. Biofiltración sobre cama de turba, para el tratamiento sobre agua residual proveniente del lavado de jeans.

E-bio4. Biofiltros con *Furcraea andina* y *Eucalyptus globulus* para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash - 2018”

E-bio5. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas mediante Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial Vertical utilizando diferentes Plantas Emergentes.

E-bio6. Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica para el tratamiento de agua.

E-bio7. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

E-bio8. Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín.

E-bio9. Biofiltro con Eneas para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Institución Educativa Virgen de la Medalla Milagrosa Cerro la Vieja – Motupe 2015.

E-bio10. Propuesta metodológica para la construcción de humedales artificiales.

E-bio11. Propuesta de un sistema de tratamiento para mejorar la calidad del agua residual de las piscinas municipales del Distrito de Baños del Inca – 2018.

E-bio12. Eficiencia de *lumbricus terrestris* y *eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de Bagua-Amazonas, 2015

E-bio13. Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades.

E-bio14. Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento ocaña del cantón quero.

E-bio15. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales

E-bio16. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas

E-bio17. Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal neuta en el municipio de Soacha.

E-bio18. Uso de Biofiltros Angostos como medida de mitigación de las pérdidas de nitrógeno en dos suelos de Chile Central cultivados con maíz: segundo año de evaluación.

E-bio19. Sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de Tijuana.

E-bio20. Diseño y construcción de 2 biofiltros con *eichhornia crassipes* y *lemna minor* para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora río manso exa s.a. “Planta la comuna”, Quinindé.

Tabla 3

Material

Material	Cantidad	Unidad
Laptop	1	Unid
Impresora	1	Unid
Papel bond	2	Millar
Libreta de campo	1	Unid
Lápices	4	Unid
AutoCAD 2020 elaboración de planos	1	Unid
MS Office	1	Unid

Instrumentos

Para el tratamiento de los datos y propuesta del diseño del sistema de biofiltro se utilizó los siguientes Software

- AutoCAD 2020
- Archicad 23

Métodos

Tabla 4

Recolección de información.

Pregunta	Explicación
¿Qué evaluar?	Analizar los diferentes diseños de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas
¿De qué objetos?	Aguas residuales domésticas.
¿Sobre qué aspectos?	Propiedades físico químicas del agua residual doméstica.
¿Cómo y con qué?	Investigación bibliográfica en artículos científicos e investigaciones previas.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En el trabajo de investigación se emplearon las técnicas de análisis documental, que según Marín (1985) “nos permite identificar la información más relevante para nuestra investigación, así como la forma idónea para su registro”.

Tabla 5

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumentos	Fuente Bibliográfica de la Técnica
Revisión documental	Lista de Verificación Fichas de resumen.	“El análisis documental permite identificar la información más relevante para nuestra investigación, así como la forma idónea para su registro”

En cuanto a los instrumentos utilizados se detalla en la tabla 6, resume la implementación de los instrumentos.

Tabla 6

Instrumentos de recolección de datos. Fases de recolección y análisis de datos.

Instrumento	Fase de Recolección de Datos	Fase de Análisis de Datos
Lista de verificación	Este instrumento se aplicó para el desarrollo de los objetivos específicos 1 y 2.	Este instrumento garantiza la información requerida para elaborar tablas, gráficos y cálculos para lograr el diseño del sistema de filtrado basado en biofiltros.
Ficha resumen	Este instrumento se empleó en 2 ocasiones, para resumir las leyes nacionales que rigen el control y manejo de aguas residuales y para sintetizar los tipos de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales incluyendo sus ventajas y desventajas.	Los datos recolectados con este instrumento ofrecieron los datos necesarios para diseñar el sistema de filtración basado en biofiltros, así como para proponer el plan de mantenimiento.

Para la veracidad de la documentación se utilizaron los buscadores booleanos, que Según, Biblioteca de la Facultad de Odontología (2012) Los operadores booleanos (AND, NOT, OR) localizan registros que contienen los términos coincidentes en uno de los campos especificados o en todos los campos especificados.

Por ejemplo, OR, Or y or devuelven los mismos resultados. En nuestros ejemplos, usamos mayúsculas por cuestiones de estilo. Clarivate, (2020).

OPERADOR	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
AND (Intersección)	Reduce y especifica la búsqueda.	Contabilidad AND Auditoría 
OR (Union)	Amplia la búsqueda.	Contabilidad OR Auditoría 
NOT (Exclusión)	El término o expresión que le sigue.	Contabilidad NOT Auditoría. 

Figura 12. Operadores Booleanos (2012) .

La siguiente figura muestra la estructura de búsqueda que permite el desarrollo del presente trabajo.

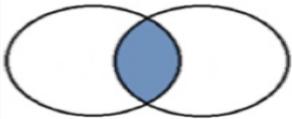
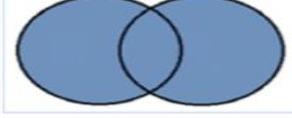
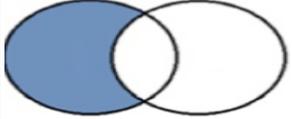
Terminos	Procedimiento	Esquema
AND	Biofiltros AND Tratamiento	 <p>Encontrados = 297 Depurados = 44 Utilizados = 13</p>
OR	Biofiltros OR Agua Residuales	 <p>Encontrados = 112 Depurados = 71 Utilizados = 35</p>
NOT	Eficiencia de Biofiltros NOT Aguas residuales	 <p>Encontrados = 9 Depurados = 9 Utilizados = 7</p>

Figura 13. Operadores Booleanos utilizados en el presente trabajo.

A continuación, se describen los datos consultados en diferentes webs como:

2.4. Procedimiento

En el proceso de recolección de información se encontraron 118 artículos de los cuales se seleccionan 20 artículos. Para la búsqueda de la información, se utilizan diferentes variables tales como: Lecho filtrante, Humedales, biofiltros, aguas residuales domésticas, micrófitas, absorción de fosforo, tratamiento de aguas residuales domésticas, entre otros, lo que permitió la obtención de numerosos artículos, tesis de grado, libros electrónicos y una diversidad de textos, que de acuerdo a la temática a desarrollar en el presente trabajo de investigación tesis, responden a la pregunta de investigación referente al diseño de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas, este tema es relativamente reciente, puesto que todos los textos incluidos para la elaboración del artículo datan de los últimos diez años.

Para el desarrollo de la investigación se siguió el siguiente procedimiento a fin de cubrir los requerimientos de cada objetivo específico:

Revisión bibliográfica, consistió en la revisión sistemática de la literatura, buscando fuentes informativas con carácter similar al presente tema; esencialmente se ha tomado de buscadores virtuales como: Scielo (7 investigaciones), Redalyc (5 investigaciones), Refseek (1 investigación), Google académico.

La búsqueda se realizó en junio de 2020 en las siguientes bases: Google académico, CINAHL, CUIDEN, IBECS, LILACS, Pubmed, Proquest, Psycinfo, Scielo, Scopus.

Tabla 7

Información sobre biofiltros consultada

Fuente	Tipo de investigación	Lugar	Título
Romero M, Colín A, Sánchez S. Ortiz H.	Tesis de Pregrado	México	Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica
Robledo 2017	Tesis de Pregrado	México	Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industrial de Morelia, Michoacán, México
Zurita 2011	Tesis de Pregrado	Colombia	El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de Colombia
Ontiveros 2013	Tesis de pregrado	México	Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego.
Sanhueza 2011	Tesis de posgrado	Chile	Evaluación del comportamiento geotécnico de suelos volcánicos chilenos para su uso como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas
Gandarillas 2017	Tesis de Pregrado	Bolivia	Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa
López 2016	Tesis posgrado	México	Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura
Ibáñez 2008	Tesis pregrado	España	El Riego de los Suelos con Aguas Residuales: Un Serio Problema para la Salud Humana (Enfermedades Infecciosas).
Díaz et al 2012	Tesis de pregrado	México	El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México
Sens et al 2013	Tesis de pregrado	España	La filtración inducida como una alternativa de tratamiento de agua para remover cianobacterias y cianotoxinas.
Veliz et al 2009	Tesis pregrado	Cuba	Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica
Montano, García, Terra, 2016	Tesis de Pregrado	México	Redescubriendo El Suelo: Su Importancia Ecológica y Agrícola
Méndez 2013	Tesis de pregrado	Colombia	Relación estadística entre metales pesados y propiedades de suelos de cultivo regados con aguas residuales no depuradas

Detallar, conceptos, características y clasificación de las aguas residuales.

- Revisión documental sobre conceptos básicos de las aguas residuales.
- Validación de fuentes confiables de información.
- Identificación de leyes nacionales sobre el manejo y tratamiento de las aguas residuales.
- Determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos requeridos por la ley para el uso del agua para riego, consumo animal, disposición en cauces naturales de agua, y otros. Esta información se presentó con el uso de tablas.
- Comparación de diferentes sistemas de biofiltros empleando tabla con ventajas y desventajas.
- Establecimiento de criterios para el diseño.
- Eficiencia factor biológico a controlar DBO₅, DQO, PT.
- Elaboración de planos con uso de la herramienta de dibujo asistido.

Proponer un plan de mantenimiento para sistemas de filtración basados en biofiltros.

- Definir las actividades de mantenimiento a realizar.
- Determinar los materiales necesarios para las labores de mantenimiento.
- Determinar la frecuencia de ejecución de cada actividad.
- Definir el tiempo requerido por actividad.
- Proponer el plan de mantenimiento.

De forma resumida los pasos a seguir para el desarrollo del sistema de filtrado basado en biofiltros se describen en la figura 12 mostrada a continuación:



Figura 14. Procedimiento de recolección de información.

2.5. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se realizó mediante la revisión documental de tesis, libros, donde los aportes de las investigaciones probadas nos ayudan a mejorar el diseño de este proyecto para el mejor cuidado del medio ambiente. En este proyecto nos basamos en las leyes y normas vigentes, tal como el DS N°003-2010 MINAM (2017) y la Ley General del Ambiente N°28611 y su modificatoria DL. N°1055, Ley N°29263 y Ley N°29895, DJ N° 058-2012-ANA (2012)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Al realizar el análisis de los datos encontrados se obtuvo la siguiente información:

3.1. Eficiencia de los biofiltros.

E-bio1. La presente investigación hace una comparación entre dos sistemas de biofiltros (SB1 y SB2), el primero (SB1) se encuentra compuesto por un canal de desbaste (Pre tratamiento), tanque séptico (Tratamiento primario), seguido por un humedal de flujo subsuperficial vertical (HFSSV) y un humedal de flujo superficial (FS), ambos como tratamiento secundario.

Mientras el segundo (SB2), conformado por un canal de desbaste (Pre tratamiento), tanque séptico (Tratamiento primario), seguido por un lombrifiltro y un humedal de flujo superficial, tal como se muestra en la Tabla N° 8.

Tabla 8

Eficiencia de biofiltro de plantas de Eichhornia crassipes, Cyperus papyrus, Alocacia macrorrhiza -Lombrifiltro.

Tipo de biofiltro		Efectividad			
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL)		SST	DBO	DQO	PT
		95.72%	91.55%	96.39%	NE
Flujo Subsuperficiales o sistemas de plantas con raíces emergentes (FSS)	Sistemas de flujo vertical (FSSV) con <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Alocasia macrorrhiza</i>	96.86%	95.98%	NE	96.24%
	sistemas de flujo horizontal (FSSH) Lombrifiltro	NE	94%	92%	NE

En la tabla N° 8, se observa la eficiencia en el uso de *Eichhornia crassipes*, *Cyperus papyrus*, *Alocacia macrorrhiza* –Lombrifiltro, los cuales desarrollan un mayor porcentaje de efectividad en SST, DBO, DQO, PT, en ambos tipos de biofiltros.

E-bio2. En el diseño del filtro se utilizó un volumen de 35 lts de piedra pómez como elemento filtrante, la cual se tamizó, obteniendo un tamaño de partículas entre 9.5-12.7mm. El material filtrante se colocó dentro de un recipiente plástico de dimensiones 570x420x340mm. Se realizó

análisis de los siguientes parámetros: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Sólidos Totales, ya que son los indicadores más representativos para conocer la calidad de este tipo de aguas residuales los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9

Eficiencia de biofiltro utilizando piedra pómez.

Tipo de biofiltro	Efectividad		
	SST	DBO	DQO
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL) con piedra pómez	44%	63%	59%

En la tabla N° 9, utilizando la piedra pómez se obtiene un menor porcentaje de eficiencia en los parámetros SST 44%, DBO igual 63% y DQO igual 59%.

E-bio3. El presente trabajo experimental tiene por objetivo diseñar y construir un prototipo de biofiltro sobre cama de turba, para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado de Jeans.

Tabla 10

Eficiencia del biofiltro utilizando turba.

Tipo de biofiltro	Efectividad				
	SST	DBO	DQO	N	P
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL) sobre cama de turba	80-90%	75-85%	70-80%	30-40%	10-20%

En la tabla N° 10, con el uso de turba se tiene mayor eficiencia en los parámetros, SST igual 80%, DBO igual 75-85%, DQO igual 70-80 %, y tiene una deficiencia en N 30-40% y P 10-20%.

3.2. Identificación de los parámetros físico-químicos

P-bio4. En esta investigación se realizó dos biofiltros con diferentes rellenos, el primero con fibras de *Furcraea andina* (cabuya) y el otro con astillas de madera de *Eucalyptus globulus*

(eucalipto) para tratar aguas residuales de una piscícola en Acopalca, cuyas características químicas presenta una elevada carga orgánica y amonio, evaluando ambos biofiltros en tres diferentes tiempos de retención hidráulica (1h, 2h y 3h) su eficiencia se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11

Eficiencia de biofiltro de plantas de cabuya y eucalipto.

Tipo de biofiltro		Parámetros				
		DBO (%)	DQO (%)	NH ₄ ⁺ (%)	NO ₃ (%)	NO ₂ (%)
Subsuperficiales o sistemas de plantas con raíces emergentes (FSS)	Sistemas de flujo vertical (FSSV) con cabuya	77.03	68.95	76.25	86.86	79.37
	sistemas de flujo horizontal (FSSH) astillas de eucalipto	75.07	68.19	77.04	86.52	78.31

Respecto a la eficiencia de los biofiltros, el relleno de fibras de cabuya (*Furcraea andina*) resultó tener una mayor capacidad de remoción de la DBO 77.03%, DQO igual 68.95%, NH₄⁺ igual 76.25%, NO₃ igual 86.86%, NO₂ igual 79.37%, con un pH estable de 7,4, en comparación con el relleno de astilla de madera de eucalipto (*Eucalypto globulus*) la cual tuvo una eficiencia de DBO igual 75.07%, DQO igual 68.19%, NH₄⁺ igual 77.04%, NO₃⁻ igual 86.52%, NO₂⁻ igual 78.31%.

Tabla 12

Efectividad de los principales biofiltros consultados.

Biofiltro	Parámetros							Efectividad
	SST	DBO	DQO	PT	NH ₄ ⁺	NO ₃	NO ₂	
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL)	95.72%	91.55%	96.39%	NE	NE	NE	NE	Media
Sistemas de flujo vertical (FSSV) con <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Alocasia macrorrhiza</i>	96.86%	95.98%	NE	96.24%	NE	NE	NE	Media
Sistemas de flujo horizontal (FSSH) Lombrifiltro	NE	94%	92%	NE	NE	NE	NE	Media
Sistemas de flujo vertical (FSSV) con cabuya	NE	77.03%	68.95%	NE	76.25%	86.86%	79.37%	Alta
sistemas de flujo horizontal (FSSH) astillas de eucalipto	NE	75.07%	68.19%	NE	77.04%	86.52%	78.31%	Alta
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL) sobre cama de turba	80-90%	75-85%	70-80%	10-20%	NE	NE	NE	Media
Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL) con piedra pómez	44%	63%	59%	NE	NE	NE	NE	Baja

Respecto a la eficiencia de los biofiltros, el biofiltro de mayor capacidad de remoción de la DBO igual 96% corresponde al biofiltro de flujo o sistemas de plantas de libre flotación, DQO igual 91%, que corresponde al sistema de flujo horizontal-Lombrifiltro PT igual 89.37, corresponde al sistema de flujo horizontal-Lombrifiltro SST igual 90%, Flujo libre o sistemas de plantas de libre flotación (FL) sobre cama de turba.

Por otro lado, tomando como referencia el D.S. N°015-2015-MINAM para agua de categoría 3, y el D.S.N°003-2010-MINAM con los LMP para efluentes de PETAR y los VMA para descarga al sistema de alcantarillado, para el reúso de aguas residuales, los valores se cumplen en su totalidad.

Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores en su totalidad cumplen con el valor establecido de 15 mg/L para DBO₅.

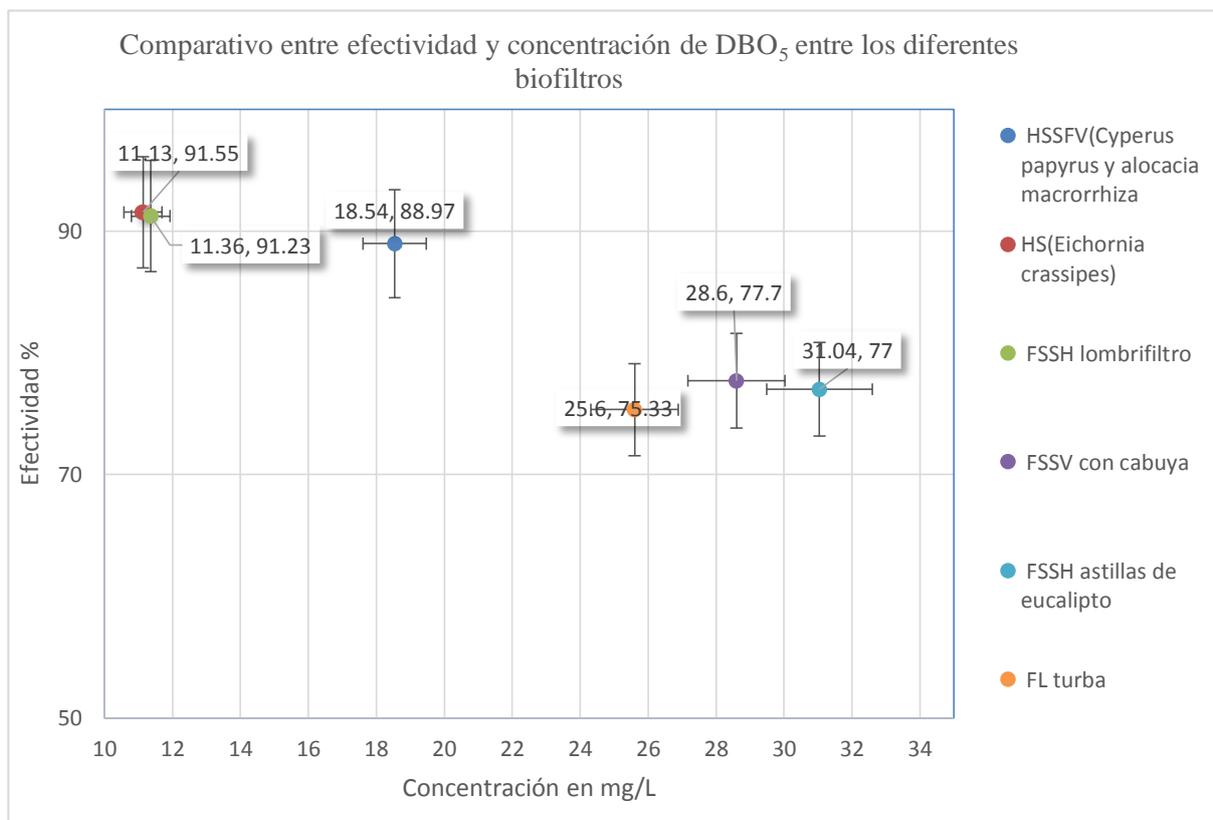


Figura 15. Meta-análisis DBO₅

Respecto a la Figura 15 hace referencia a la efectividad de los diferentes tipos de biofiltros para el DBO₅ en la cual se muestra que los biofiltros con mayor eficiencia de filtrado corresponden al humedal superficial con la especie *Eichornia crassipes* y el humedal FSSHV o lombrifiltro con una efectividad de 91.55 y 91.23 % concentración de 11.13 y 11.36 mg/L respectivamente lo que comparado con ECA representa un valor por debajo del límite permitido (15 mg/L).

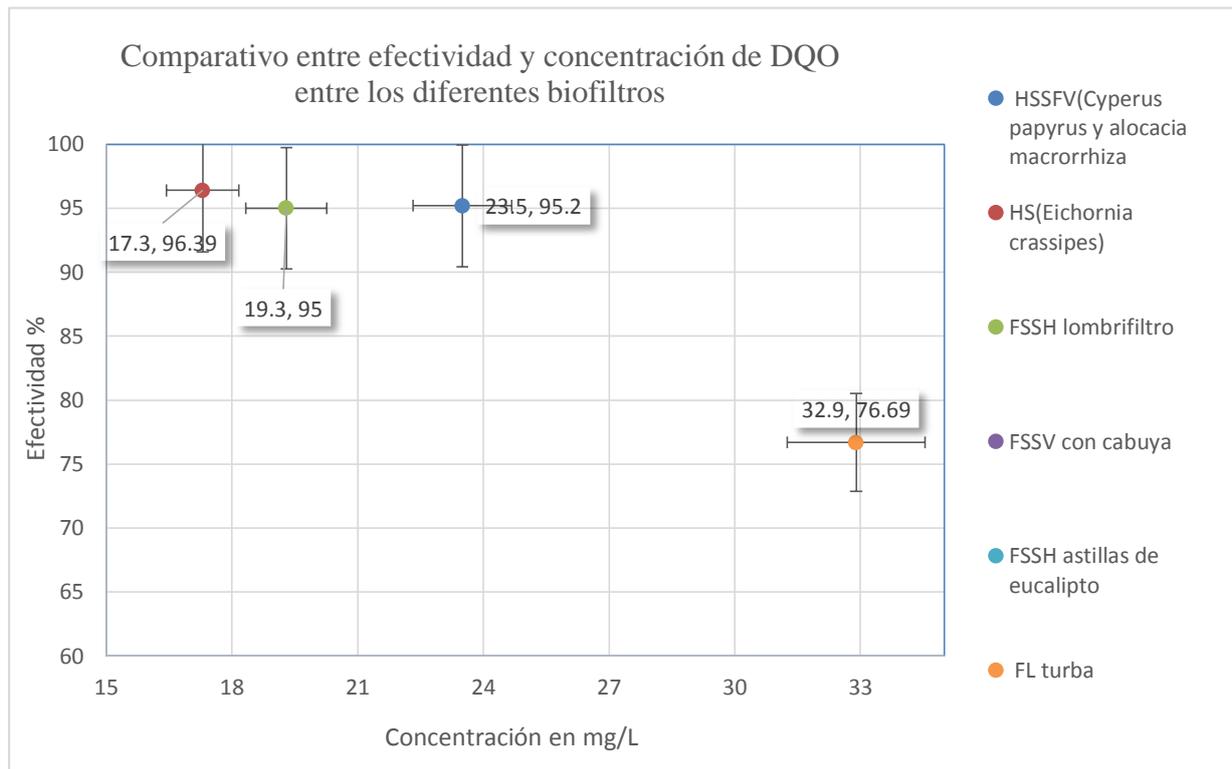


Figura 16. Meta-análisis DQO

Respecto a la Figura 16 hace referencia a la efectividad de los diferentes tipos de biofiltros para el DQO en la cual se muestra que los biofiltros con mayor eficiencia de filtrado corresponden al humedal superficial con la especie *Eichornia crassipes* y FSSH o lombrifiltro con una efectividad de 96.27% y 95% concentración de 17.09 mg/L y 17 mg/L respectivamente lo que comparado con ECA representa un valor por debajo del límite permitido (30 mg/L).

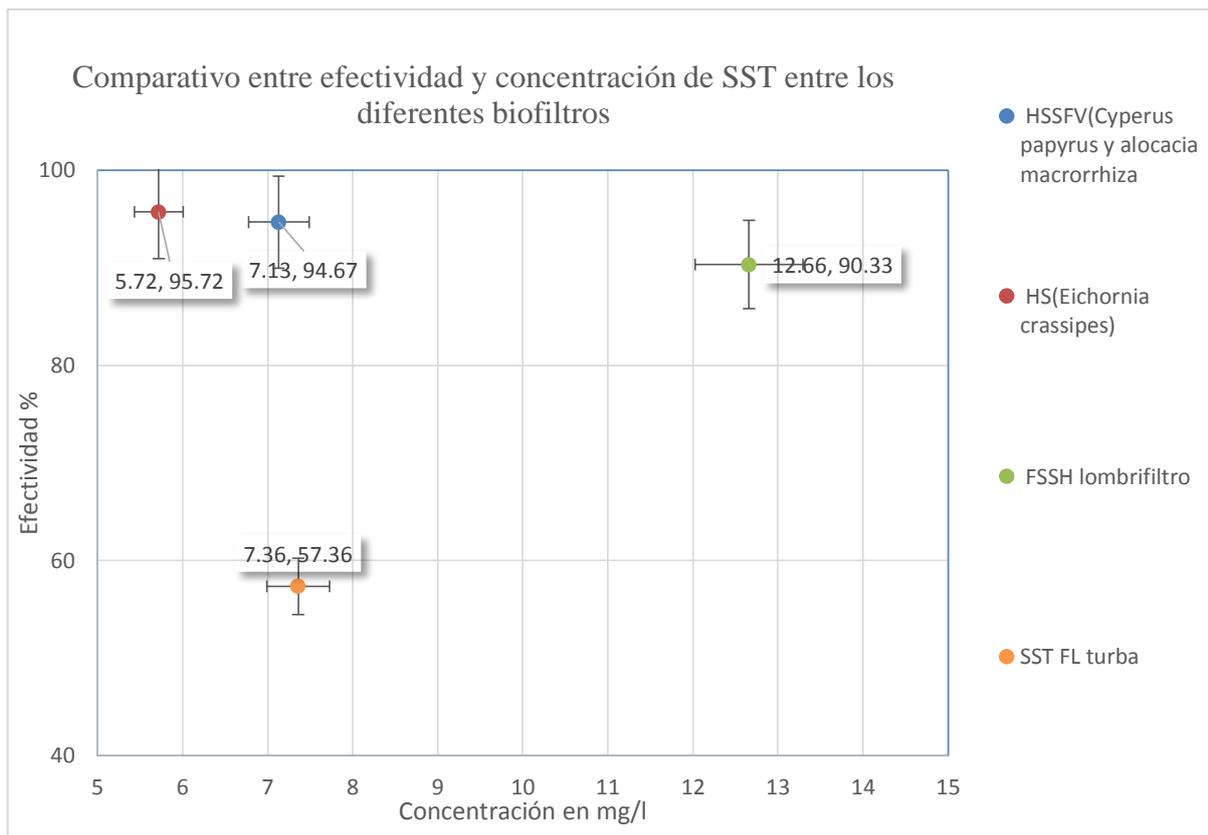


Figura 17. Meta-análisis SST

Respecto a la Figura 17 hace referencia a la efectividad de los diferentes tipos de biofiltros para sólidos en suspensión total (SST) en la cual se muestra que el biofiltro con mayor eficiencia de filtrado corresponde al humedal superficial con la especie *Eichornia crassipes* y HSSFV (*Cyperus papyrus* y *Alocacia macrorrhiza* con una efectividad de 95.67 y 95.72% y concentración de 5.72 y 7.13 mg/L lo que comparado con ECA representa un valor por debajo del límite permitido (30 mg/L).

3.3. Diseño de biofiltro.

Según a la norma IS.0.20 (2012) para un volumen 4 m^3 en un área de 2×2 , con una capacidad mínima de 120L.

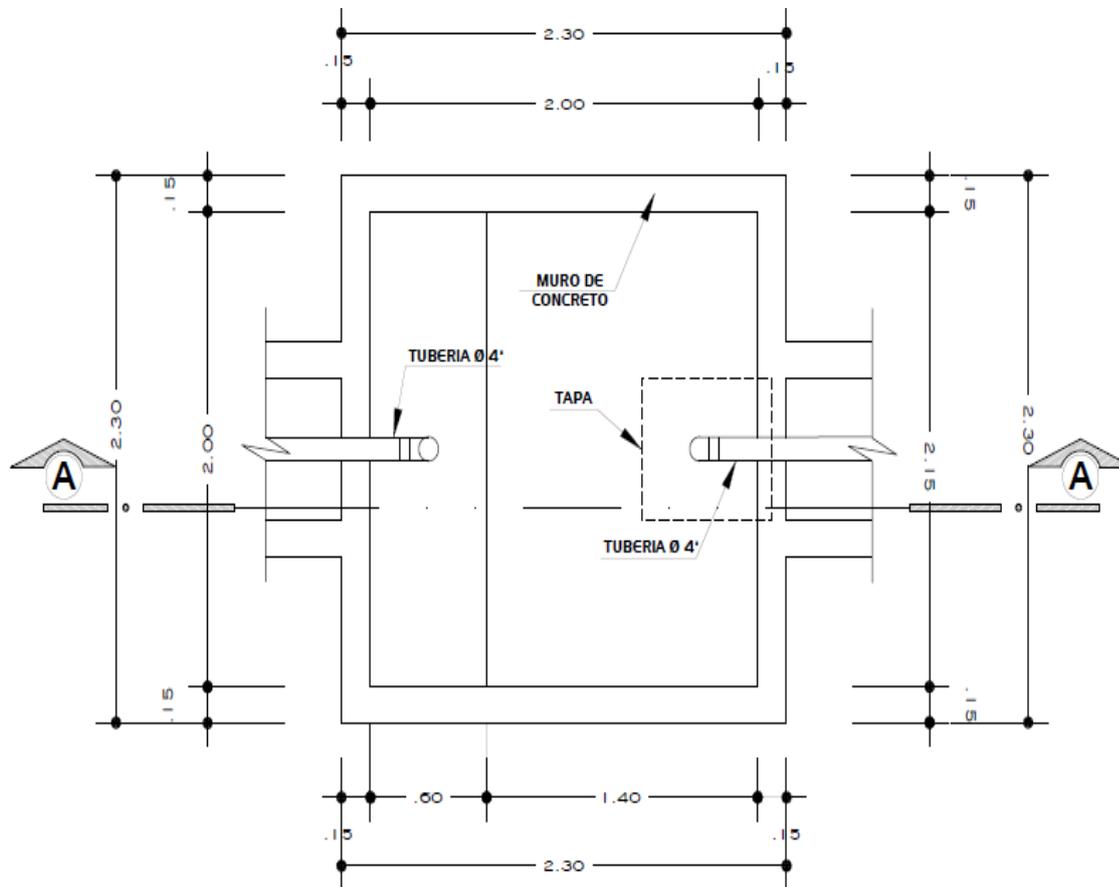


Figura 18. Se muestra el detalle del diseño de la trampa de grasa.

Sera necesaria la instalación de trampa de grasa en los sistemas que usen tanques sépticos, cuyas aguas residuales provengan de restaurantes, hoteles, campamentos y similares, a excepción de viviendas. Según la norma IS.020 (2012)

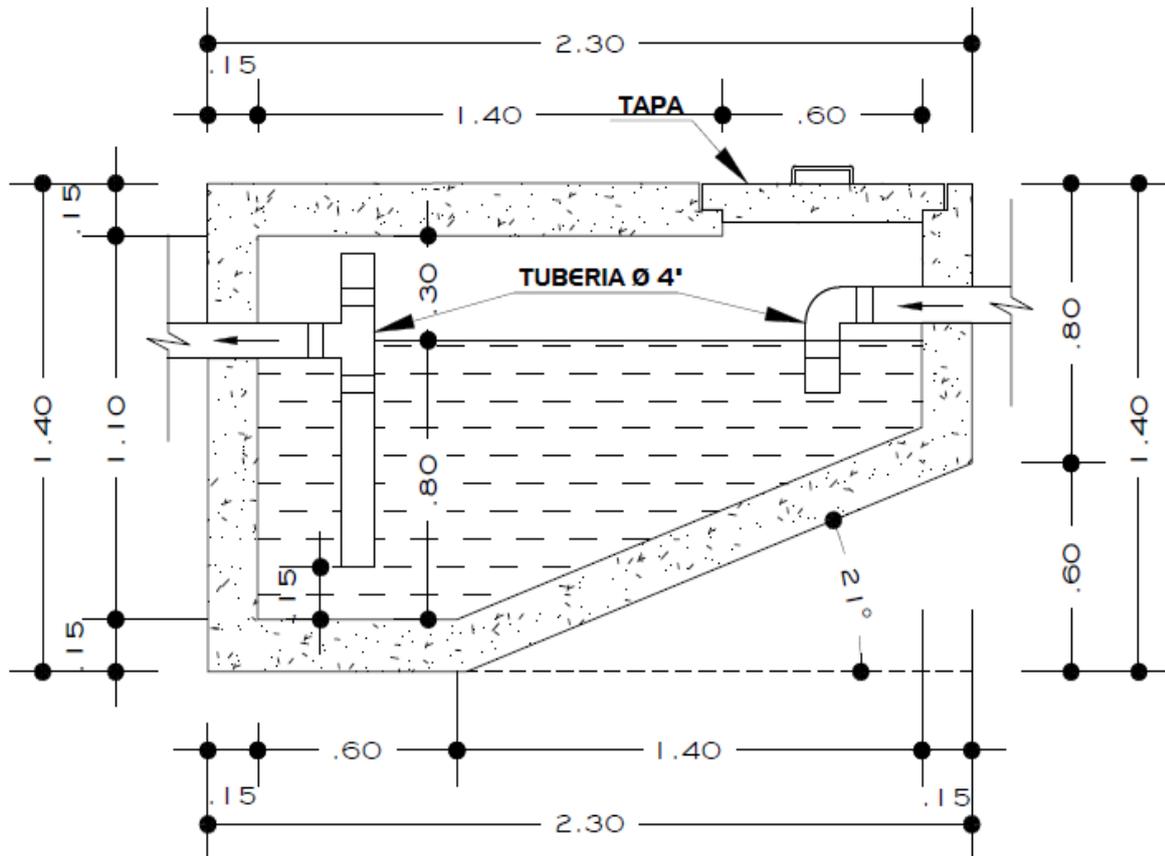


Figura 19. Perfil del detalle de la trampa de grasa. Según la norma IS.020 (2012)

En la figura 19 se observa un modelo de trampa de grasa con tubería de entrada y salida de 4 pulgadas de diámetro de 2.30 m de alto y 2.30m de largo la cual servirá para la remoción de grasa que ingrese en el sistema de biofiltro.

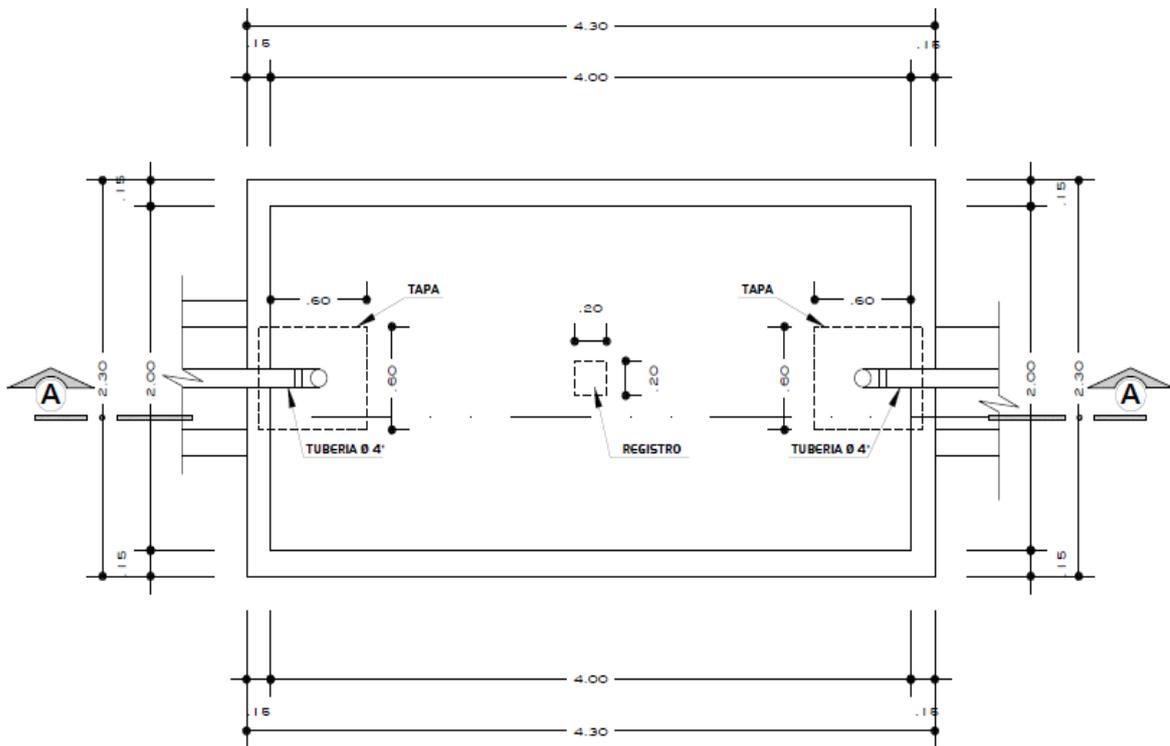


Figura 20. Planos de planta del detalle del tanque séptico

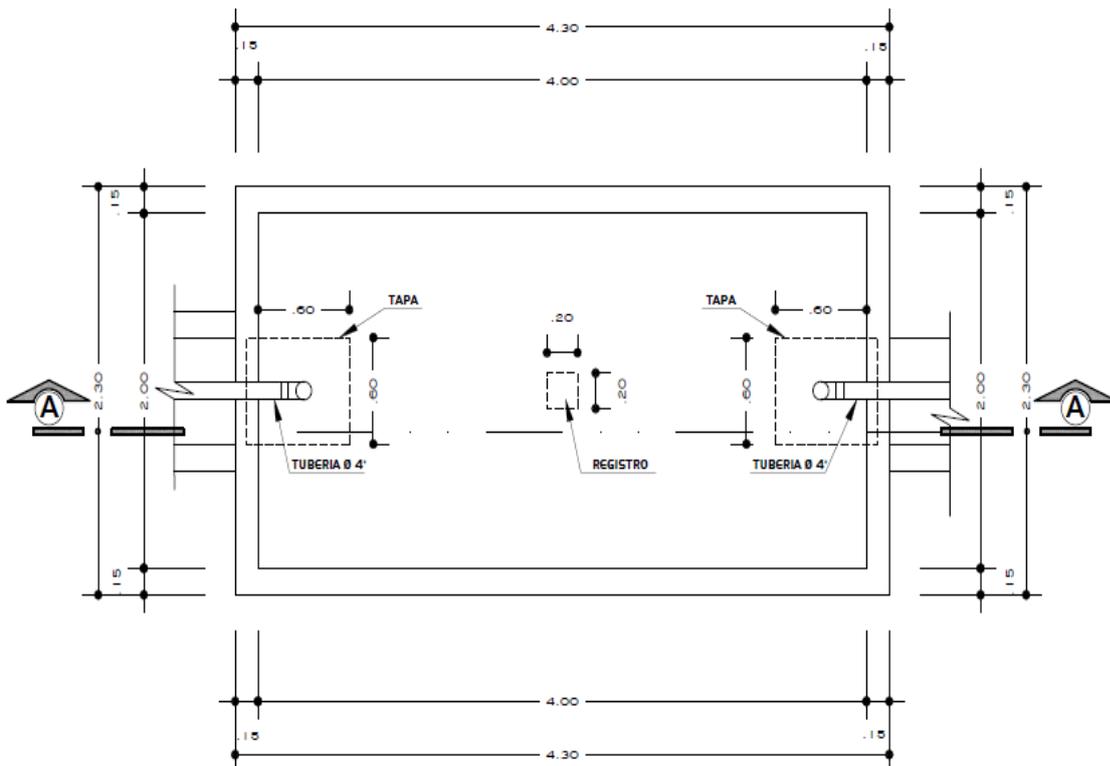


Figura 21. Corte del detalle del tanque séptico

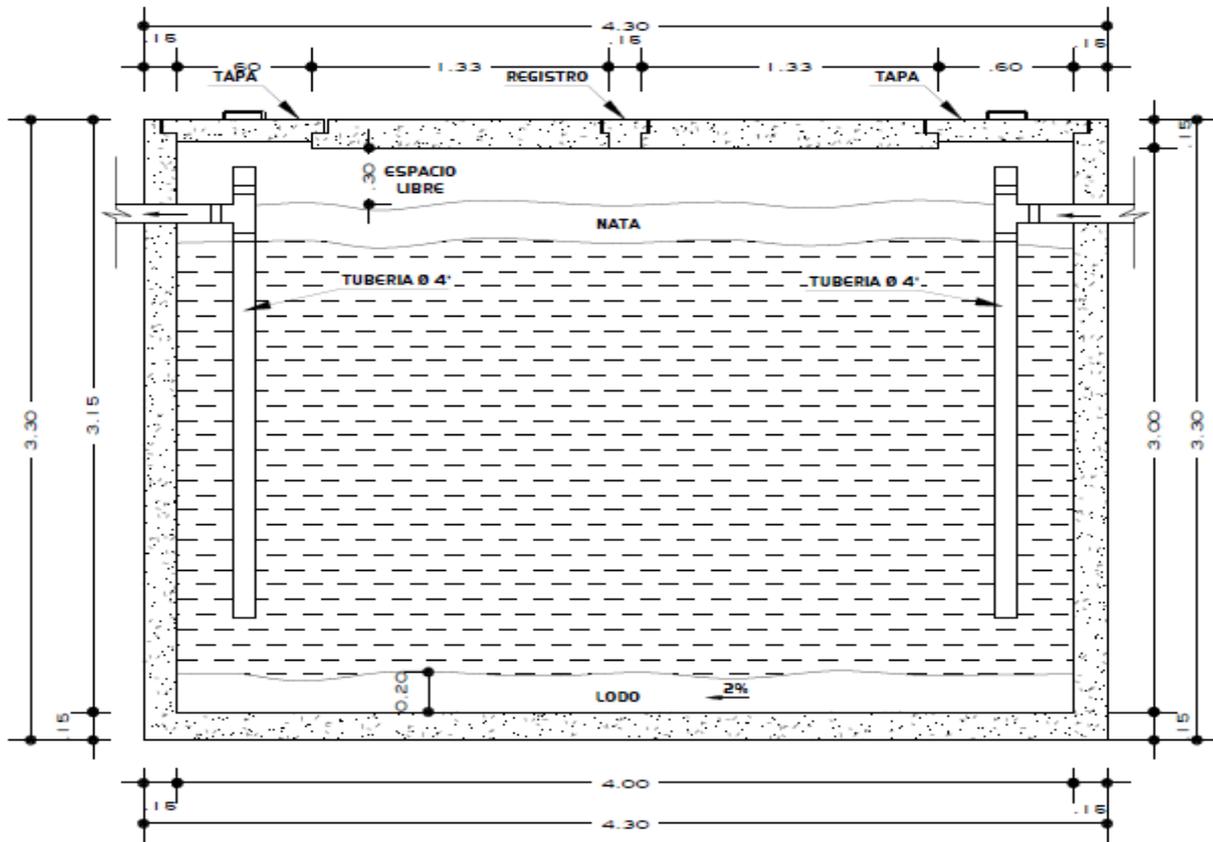


Figura 22. Corte del detalle del tanque de biofiltro con plantas acuáticas.

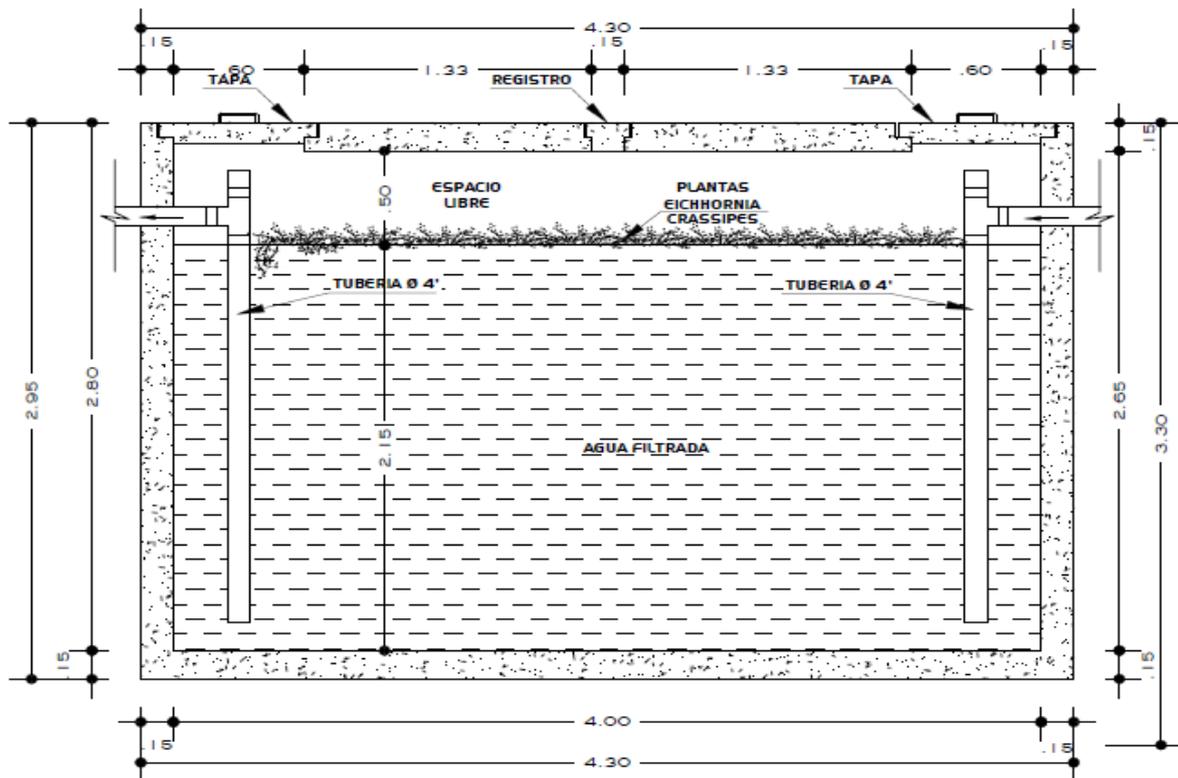


Figura 23. Planos de planta del detalle del tanque de biofiltro

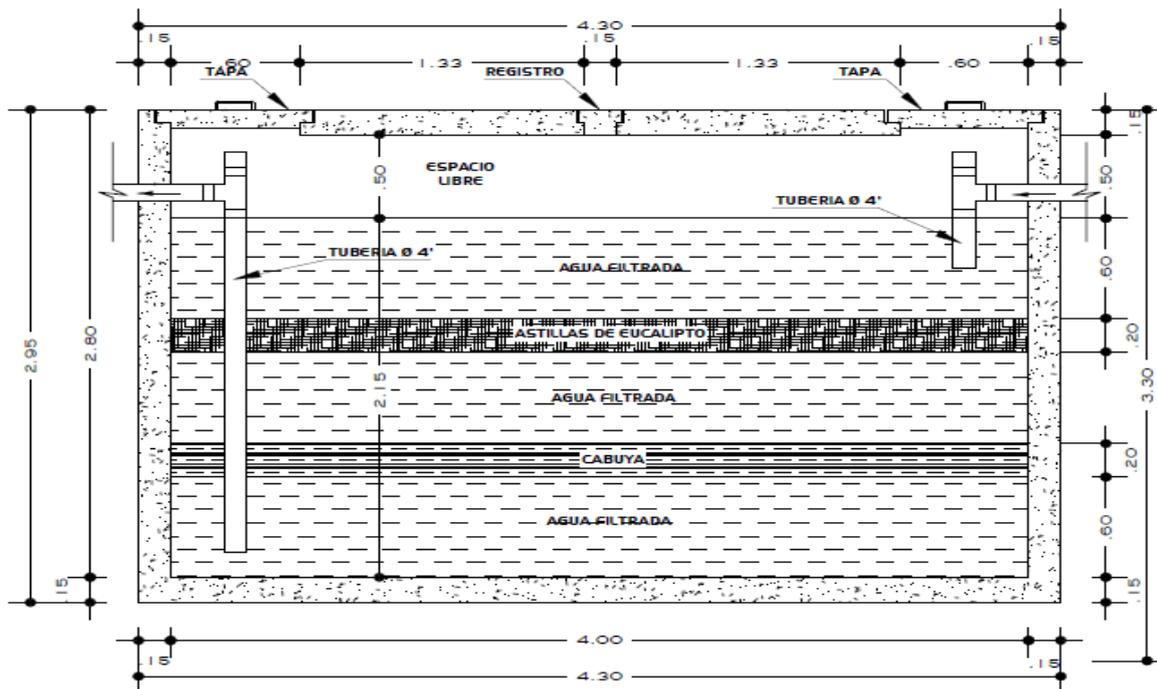


Figura 24. Corte del detalle del tanque de biofiltro con astillas de eucalipto y cabuya

3.4. Plan de mantenimiento para sistemas de biofiltros.

Para garantizar el correcto funcionamiento y operación del sistema de filtración basado en biofiltros, los elementos que conforman el sistema deben ser revisados y sometidos a un plan de mantenimiento preventivo periódico de forma que el mismo cumpla cabalmente con los parámetros de diseño.



Figura 25. Flujograma de mantenimiento preventivo de trampa de grasa

De la figura 25 se explica a través de un flujograma el mantenimiento de una trampa de grasa la cual inicia con la remoción de sólidos gruesos de la rejilla, remoción de grasa superficial y limpieza de sedimentos para asegurar un mejor tratamiento de las aguas residuales domésticas.

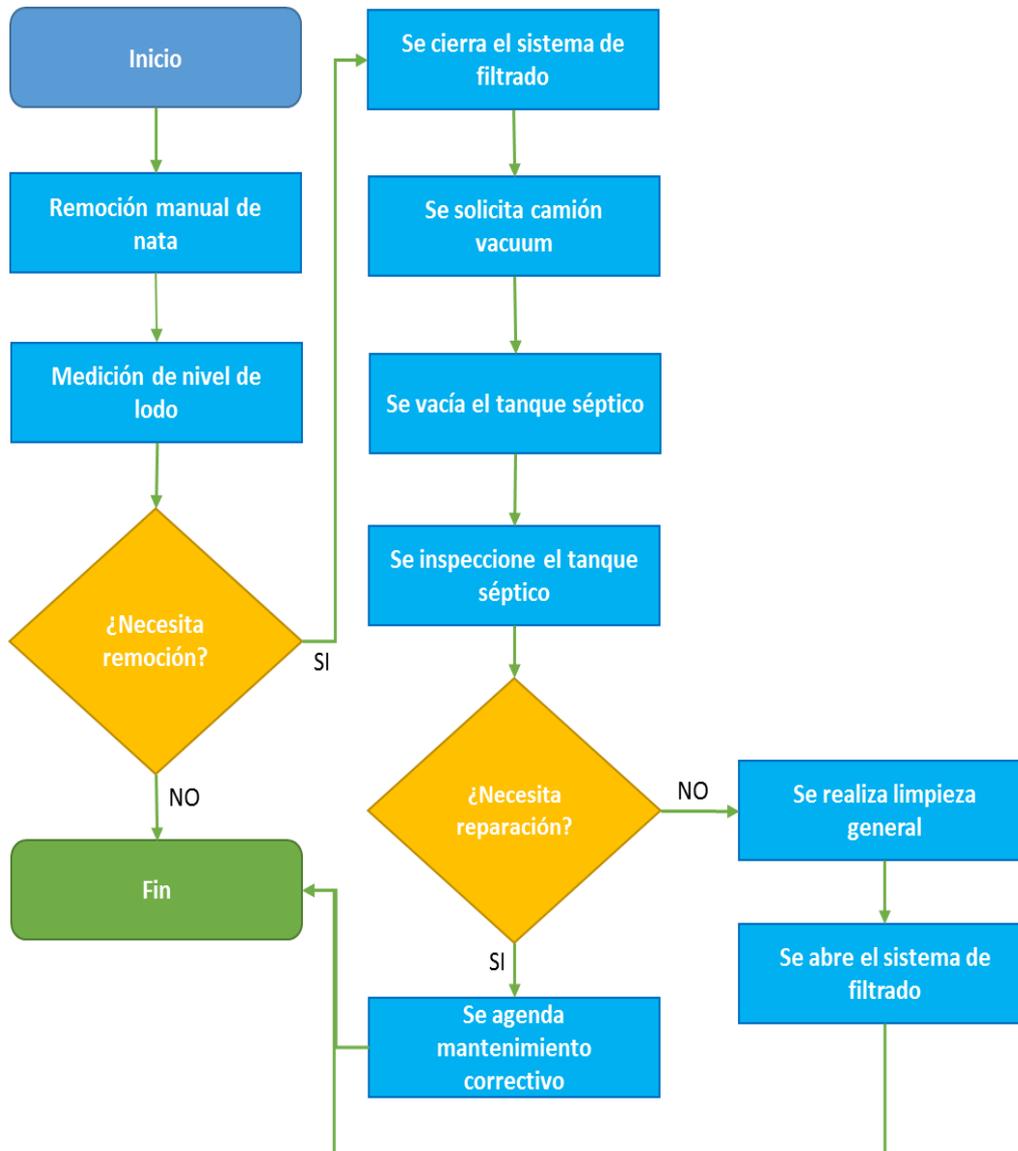


Figura 26. Flujograma de mantenimiento preventivo de tanque séptico

Según la figura 26 que muestra un flujograma el mantenimiento preventivo de un tanque séptico es necesario saber cuándo se necesita remoción y cuando se necesita reparación para ello se debe de tener en cuenta lo siguiente: ¿Necesita remoción? Remoción manual de nata,

medición del nivel de lodo o bien si las condiciones lo ameritan se cierra el sistema de filtrado, se solicita camión vacum, se vacía y se inspecciona el tanque séptico, ¿Se necesita reparación? Se agenda mantenimiento correctivo.

Tanque biofiltro

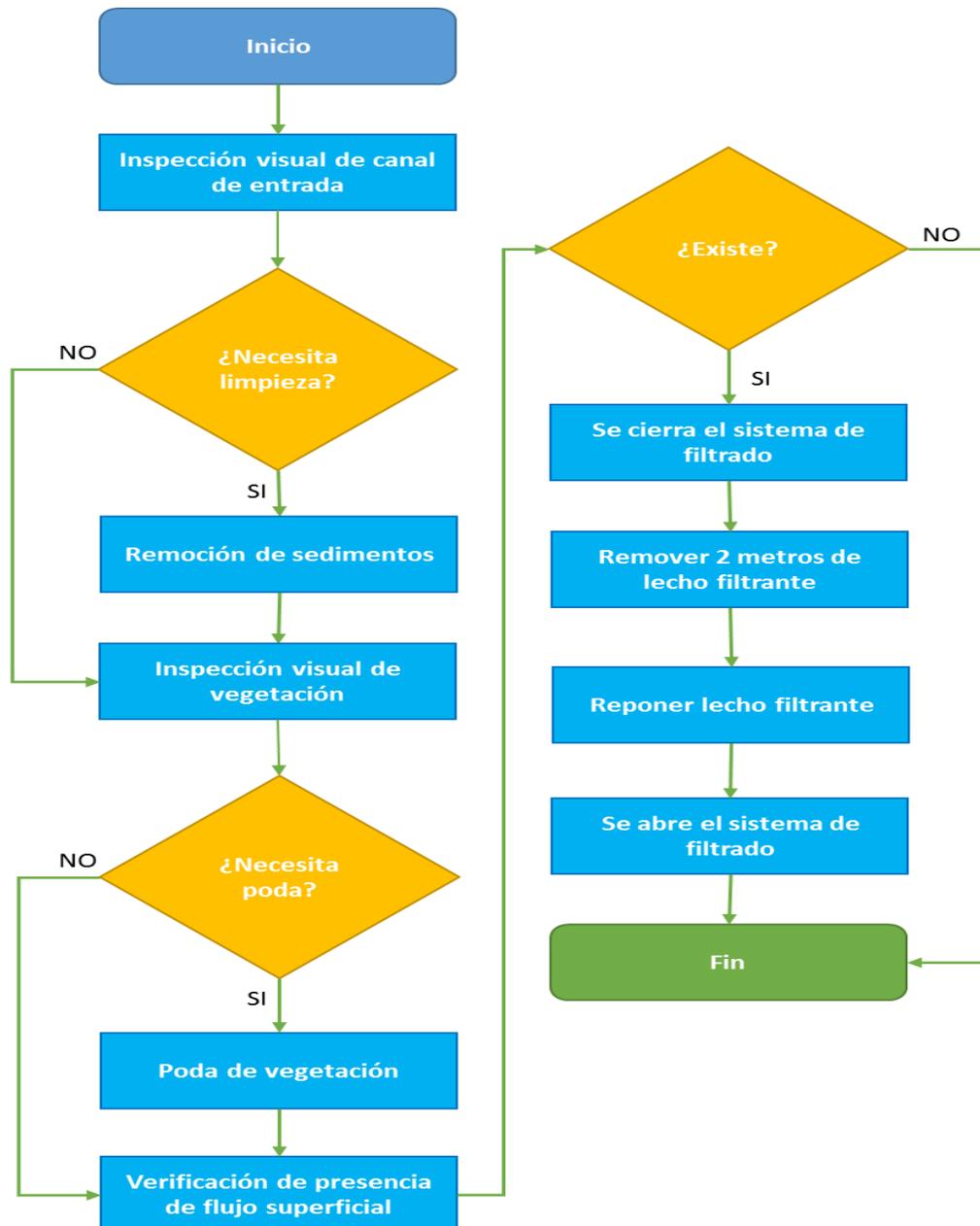


Figura 27. Flujoograma de mantenimiento preventivo de biofiltro

En la figura 27 se muestra un flujoograma de mantenimiento preventivo de un biofiltro indicando los procedimientos a seguir cuando esté presente problemas ya se por sedimentación o aumento vegetal.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Se diseñó un sistema de biofiltro para aguas residuales domesticas teniendo como base los estudios consultados en la presente investigación el sistema de biofiltro con las siguientes características: conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, lombrifiltro (*Eisenia foetida*) y humedal superficial (*Eichhornia crassipes*), empleando como vegetación a las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* en el HAFSSV, fibra de *Furcraea andina* (cabuya) y *Eucalyptus globulus* (astilla de eucalipto) en el HAFSSV y *Eisenia foetida* (HL) en el lombrifiltro de tal manera que se asegure un buen sistema de biofiltrado según comparativo de resultados obtenidos a través de la revisión documental sobre sistemas de biofiltros. El diseño se muestra en la figura 11.

En cuanto a la eficiencia del sistemas de biofiltro, el sistema de humedal de flujo subsuperficial vertical utilizando fibra de cabuya machacada y astilla de eucalipto a través de la filtración directa afluente -efluente se obtuvo resultados para el biofiltro con cabuya DBO igual 28.6 mg/L, DQO igual 72.51 mg/L nitritos igual 0.05mg/L, nitratos igual 0.38 mg/L con una eficiencia de 77.7%, 68.95%, 79.37% y 86.52% respectivamente ;por otro lado utilizando astillas de eucalipto se obtuvo DBO igual 31.04 mg/L, DQO igual 74.28 mg/L, nitritos 0.048mg/L, nitratos 3.78 mg/L con una eficiencia de 75.07%, 68.19%, 78.31%, 86.52%, cuyos resultados obtenidos al ser comparados con ECA 015-2015 MINAM, LMP-003-2010, VMA-010-2019, para los ECAS, agua con fines de uso agrícola (3), los valores que se obtuvo están por encima de los valores establecidos, DBO igual 15 mg/L, DQO igual 40 mg/L nitratos igual 100mg/L, para los LMP los resultados obteniendo están por debajo de los límites permitidos DBO igual 100mg/L, DQO igual 200mg/L, SST igual 150mg/L, para los VMA, los resultados obtenidos están por debajo de los limites admisibles, DBO igual 500mg/L, DQO igual 1000mg/L, SST igual 500mg/L.

Por otro lado los biofiltros mixtos; el primero conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* y el segundo sistema de biofiltro conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, lombrifiltro (*Eisenia foetida*) y humedal superficial (HS) empleando como vegetación a las especies, *Eichhornia crassipes* obteniéndose resultados para el biofiltro con *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* en el HSSFV un DBO igual 18.54 mg/L, DQO igual 23.5 mg/L, SST igual 7.13mg/L, con una eficiencia de 88.97%,95.2% y 94.67% respectivamente. Respecto al biofiltro con (*Eisenia foetida*) y *Eichhornia crassipes*, se obtuvo valores de DBO₅ igual 95.92% de DQO igual 94.34% en SST igual 94.34%, y para los parámetros nitrito y nitratos no se presentó porcentajes de remoción. Por otro lado, Díaz, 2012 menciona que con la construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical con la especie *Cyperus papyrus* con trampa de grasas y un tanque de sedimentación para que el proceso sea más efectivo.

El mantenimiento de un sistema de biofiltro para aguas residuales domésticas, en base a los estudios consultados, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El mantenimiento de los canales de desbaste, consiste en retirar las rejillas en las que se retiene el material sólido orgánico e inorgánico que se presentan, cuya limpieza debería realizarse una vez por semana, y/o cada mes.
- El mantenimiento del tanque séptico, consiste en el retiro del material sedimentado cada seis meses y que después de ser secado de manera natural puede ser utilizado como abono orgánico.
- El mantenimiento de la vegetación se debe realizar cada seis meses por que las plantas en crecimiento consumen más P y N, que las plantas adultas (caso del *Cyperus papyrus*).
- El mantenimiento del lecho filtrante se debe realizar cada seis meses para evitar obstrucciones.

4.2 Conclusiones

- ✓ En base a los estudios consultados, el diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de las aguas residuales domésticas se basa en la toma de datos relevantes como el tipo de agua a tratar, la población beneficiada, el caudal y los parámetros a evaluar. Se compone de un canal de desbaste, un tanque séptico y el tipo de biofiltro a emplear, HAFL con el uso de vegetación como el *Eichhornia crassipes*, con una eficiencia de DBO igual 91.55%, DQO igual 96.39%, SST igual 95.72% y HAFSH con el uso de *Eucaliptus globulus* (astilla de eucalipto) obteniendo una eficiencia de DBO igual 77.03%, DQO igual 68.95%, Nitrito 79.37%, Nitratos 86.86% y *Furcraea andina* (fibra de cabuya) con una eficiencia de DBO igual 75.07%, DQO igual 68.19%, Nitrito 78.31%, Nitratos 86.52%
- ✓ En base a los estudios consultados para el tratamiento de aguas residuales domésticas, el uso de los macrofitos de la especie *Eichhornia crassipes* tienen mayor eficiencia en la remoción de los parámetros DBO igual 91.55%, DQO igual 96.39%, SST igual 95.72%, en un tipo de biofiltro de HAFL obteniendo resultados que cumplen con los ECAS para el riego de plantas de tallo alto y corto, también cumple con los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas o municipales. Por otro lado el uso de *Eucaliptus globulus* (astilla de eucalipto) y *Furcraea andina* (fibra de cabuya) en un HAFSV, tiene mayor eficiencia en la remoción de nutrientes como Nitrito 78.31% y Nitratos 86.52%, obteniendo resultados que cumplen con LMP para efluentes de plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas o municipales.
- ✓ Para el mantenimiento y correcto funcionamiento del biofiltro es de vital importancia contar con un plan, donde los elementos que conforman el sistema del biofiltro empleado deben ser revisados y sometidos a un mantenimiento preventivo y periódico de forma que el mismo cumpla cabalmente con los parámetros de diseño.

REFERENCIAS

- Ana . (2012). Reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.gob.pe/ana>
- Araya, f., pesante, s., vera, l., & vidal, g. (2014). Las aguas servidas en zonas rurales. Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos, 11-19. Recuperado el junio de 2020
- Arteaga, v. (2018). Propuesta metodologica para la construccion de humedales artificiales. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.biopasos.com/biblioteca/propuesta-metodologica-construccions-humedales-artificiales.pdf>
- Arteaga-cortez, v., quevedo-nolvasco, a., del valle-paniagua, d., castro-popoca, m., bravo-vinaja, a., & ramirez-zierold, j. (2007). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. Tecnología y ciencias del agua, 319-342. Recuperado el junio de 2020
- Báez, j. (2004). Ingeniería ambiental. Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales. Barranquilla: universidad del norte. Recuperado el junio de 2020
- Bernal, o. (2014). Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de aguas residuales domesticas en el campus umng-cajicá con fines de reusó. Recuperado el junio de 2020, de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1749/t060.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Biblioteca de la facultad de odontología. (2012). Operadores de búsqueda en internet: booleanos. Recuperado el junio de 2020, de <https://blogs.unc.edu.ar/bcafo/2012/02/24/operadores-de-busqueda-en-internet/>

- Campos, c. (2017). “biofiltro con eneas para el tratamiento de aguas residuales de la institución educativa virgen de la medalla milagrosa cerro la vieja – motupe 2015. Recuperado el junio de 2020, de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11184/campos_ac.pdf?sequence=1&isallowed=y
- Chapin, f., folke, c., & kofinas, g. (2017). A framework for understanding change. Principles of ecosystem stewardship, 3-28. Recuperado el junio de 2020, de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9593/3131;jsessionid=3a9352d95f9128276c50e0e6fdc102fe?sequence=1>
- Chávez, j. (2019). Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de celendin. Recuperado el junio de 2020, de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/unc/1734/eficiencia%20de%20un%20biofiltro%20en%20la%20reducci%3%93n%20de%20carga%20org%3%81nica%20de%20un%20efluente%20industrial%20en%20la%20ciud.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Clarivate, a. (2020). Web of science todas las bases de datos ayuda. Recuperado el junio de 2020, de http://images.webofknowledge.com/wokrs5251r3/help/es_la/wok/hs_search_operators.html
- Curt, m. (2015). Macrofitas de interés en fitodepuración. Madrid. [blog]. Disponible en: Recuperado el julio de 2020, de http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/manual%20de%20fitodepuracion/capitulos%207.pdf
- D.s. N° 004-2017-minam. (2017). Estandares nacionales de calidad ambiental para agua. Lima: minam. Recuperado el junio de 2020

- Figueoa, a. (2015). Sistema de abastecimiento de agua potable en cajamarca. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/277305637>
- García, j., & corzo, a. (2019). Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Catanlunya. Catanlunya. Recuperado el junio de 2020
- Hernández, r., fernández, c., & baptista, m. (2014). Metodología de la investigación. México: mcgraw hill. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/investigacion.pdf>
- Is.020. (2012). Norma técnica. Recuperado el junio de 2020, de https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/normas_legales/saneamiento/is.020.pdf
- Laya, f., vera, l., morales, g., lopez, d., & vidal, g. (2014). Tecnologías de tratamiento para aguas servidas de origen rural. Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos, 61-85. Recuperado el junio de 2020, de https://www.academia.edu/43139887/construccion_innovadora_wetlands
- Mena, p. (diciembre de 2014). "evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (hafssh) en el colegio confamiliar siglo xxi, sede campestre corregimiento de san fernando. Recuperado el junio de 2020, de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5825_menacabrera.pdf
- Mon arquitectura. (2013). Los humedales artificiales. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

- Núñez, r. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo. Recuperado el junio de 2020, de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/upeu/555>
- Oefa. (2014). La fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima: ministerio de ambiente. Recuperado el junio de 2020, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Onu. (2015). 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible. Recuperado el junio de 2020, de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_spanish_why_it_matters.pdf
- Pazán, a., & trelles, j. (2018). Análisis del estado del arte de humedales subsuperficiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales y lodos depurados. Recuperado el junio de 2020, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8224/1/13947.pdf>
- Pérez, m., & dominguez, e. (2015). Diseño de un humedal subsuperficial vertical para la depuración de las aguas residuales de la universidad central 'marta abreu' de las villas. *Afinidad* lxxii, 569(53), 37-41. Recuperado el junio de 2020
- Ponce, ramos, días, & valles. (2016). Aporte de tecnologías limpias y sostenibles, en el desarrollo de las cooperativas. *Agropecuarias. Revista de cooperativismo y desarrollo.* Volumen 4. Recuperado el junio de 2020
- Project for the degree of master of landscape architecture, u. S. (2010). Monografía sobre humedales artificiales de flujo. Recuperado el junio de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/71396135.pdf>
- Proyecto astec, uni - rupap, nicaragua. (abril de 2006). Biofiltro: una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/biofiltro.pdf>

Quispe, a. (2018). Evaluacion de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de carapongo, lurigancho-chosica. Recuperado el junio de 2020, de http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/unfv/1930/tesis_andrea%20quispe%20pulido.pdf?sequence=1&isallowed=y

Quispe, a. (2018). Evaluacion de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de carapongo, lurigancho-chosica. Recuperado el junio de 2020, de http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/unfv/1930/tesis_andrea%20quispe%20pulido.pdf?sequence=1&isallowed=y

Rae. (2020). Aguas residuales. Recuperado el junio de 2020, de <https://dej.rae.es/lema/aguas-residuales>

Ramsar. (2013). Manual de la convención ramsar 4ta edición. Gland: ramsar. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

Ramsar, c. D. (2006). Manual de la convención de ramsar, 4a. Edición. Recuperado el junio de 2020, de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf

Ramsar, j. (2013). Manual de la convención, guía a la convención sobre los humedales(ramsar, irán, 1971). Gland suiza: 6a. Ed. Secretaría de la convención de ramsar.rodier, j., & balangué, s. (1981). Análisis de las aguas. Paris: omega s.a. Recuperado el junio de 2020

Raschid, s., & jayakody . (2008). Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: results from a global assessment. Colombo: international water management institute.

- Rincón, j., & millán, n. (2013). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de la universidad libre. Recuperado el junio de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9997/evaluacion%20de%20un%20humedal%20hss%20para%20la%20u%20libre..pdf?sequence=1>
- Rivera, d. (2015). Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en colombia. Cuaderno activa, 99-107. Recuperado el junio de 2020
- Rodríguez, c. (2003). Humedales construidos. Estado del arte (ii). Ingeniería hidráulica y ambiental, 42-48. Recuperado el junio de 2020, de <https://docplayer.es/42302884-humedales-construidos-estado-del-arte-ii.html>
- Romero, l. (2016). Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal neutra en el municipio de soacha-bogota. Recuperado el junio de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8906/proyecto%20de%20grado.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Salas, j. (2018). Introducción a los humedales artificiales como tratamiento de las aguas residuales. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>
- Valdés. (valdés de 2015). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. [blog] cochabamba: 2010. Recuperado el junio de 2020, de http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.p
- Wong, e. (2019). “tratamiento de aguas de la laguna de conache – laredo, para uso en acuicultura, mediante un biofiltro de flujo horizontal”. Recuperado el junio de 2020, de

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/unitru/15304/wong%20lopez%2c%20ernesto%20segundo.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Wwap. (2017). Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales el recurso desaprovechado. Paris: onu.

Zurita, f., alarcón, & herrera m. (2016). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en américa latina. México, pág., 105-12. Recuperado el junio de 2020

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	Variables	Definición de la Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica e Instrumentos de recolección de datos
<p>GENERAL</p> <p>¿De qué manera el diseño de un sistema de filtrado basado en biofiltros puede mejorar el manejo de aguas residuales?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Proponer un diseño de sistema de filtrado basado en biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales</p>	<p>GENERAL</p> <p>La propuesta de diseño de un sistema de filtrado basado en biofiltros mejora el manejo de aguas residuales</p>	<p>Independiente:</p> <p>Sistema de Biofiltros</p>	<p>(Rodríguez, 2012) Son sistemas de tratamiento constituidos por lagunas o canales poco profundos, impermeabilizados y plantados con especies vegetales para la remoción de contaminantes presentes en el agua.</p>	<p>Tecnología</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tipo Tratamiento primario Tratamiento secundario 	<ul style="list-style-type: none"> Fichas Resumen Leyes Revisión documental
					<p>Dependiente:</p> <p>Manejo de Aguas Residuales</p>	<p>Mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plan de mantenimiento
	<p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificar los parámetros de las aguas residuales. Realizar una revisión documental sobre los sistemas de filtración basados en biofiltros. Diseñar un sistema de filtración basados en biofiltros. Proponer un plan de mantenimiento para sistemas de filtración basados en biofiltros. 			<p>Según Vargas (2001), consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.</p>	<p>Clasificación de las aguas residuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Domesticas Industriales Urbanas 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión documental
					<p>Características de las aguas residuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Físicas Biológicas Químicas 	<ul style="list-style-type: none"> Leyes Datos Estadísticos

ANEXO 2. Instrumento de Recolección de Datos. Lista de Verificación

Para garantizar que se cubran los aspectos relevantes de la investigación se realizara un chequeo de la información a fin de asegurar que se incluyan las características de las aguas residuales y de los biofiltros, a través de los planteamientos presentados a continuación:

N°	Descripción	Si	No	NA	Observación
1	Se definieron detalladamente humedales o biofiltros, componentes, tipos y características.	X			
2	Se definieron los tipos de aguas residuales	X			
3	Se describió la composición típica de las aguas residuales	X			
4	Se realizó una revisión a las leyes nacionales relacionadas con la disposición de aguas residuales a cuerpos de agua	X			
5	Se incluyeron las características físico-químicas que deben tener las aguas para su disposición en cuerpos de agua	X			
6	Se definió detalladamente que son los sistemas de filtrado	X			
7	Se detallaron los elementos típicos que complementan un sistema de filtrado.	X			
8	Se incluyeron tablas de diseño para trampa de grasas.	X			

ANEXO 3. Resultados del análisis de plagio.

Resultados del Análisis de los plagios del 2020-07-20 17:10 PET
15.7% ExamenFinal_Tesis_Magaly_Vergara.docx

Fecha: 2020-07-20 16:50 PET

Todas las fuentes 100 |
 Fuentes de internet 27 |
 Documentos propios 9 |
 Archivo de la organización 46 |
 Biblioteca Anti-plagio de PlagScan 14

- [4]  docplayer.es/130184134-Escuela-politecnica-nacional.html
3.0% 42 resultados

- [5]  "grupo_1_43.docx" fechado del 2020-07-01
1.2% 52 resultados

- [6]  de un documento PlagScan fechado del 2019-03-18 19:48
1.9% 47 resultados

- [7]  repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47123/3560900260713UTFSM.pdf?sequence=1
2.3% 43 resultados
 1 documento con coincidencias exactas

- [9]  www.researchgate.net/publication/335539964_Estado_del_arte_una_revision_actual_a_los_mecanismos_que_realizan_los_humedales_artificiales_para_la_remocion_de_nitrogeno_y_fr
1.0% 37 resultados

- [10]  "TESIS_T2-Mendez_Rimarachin_Antonio.docx" fechado del 2020-05-27
1.7% 39 resultados
 1 documento con coincidencias exactas

- [12]  revistayca.org/mx/ojs/index.php/yca/article/view/2312/1751
1.9% 37 resultados

- [13]  www.researchgate.net/publication/336613964_Estado_del_arte_una_revision_actual_a_los_mecanismos_que_realizan_los_humedales_artificiales_para_la_remocion_de_nitrogeno_y_fr
1.9% 36 resultados
 1 documento con coincidencias exactas

- [15]  de un documento PlagScan fechado del 2019-04-15 16:16
1.6% 41 resultados

- [16]  de un documento PlagScan fechado del 2019-01-28 13:48

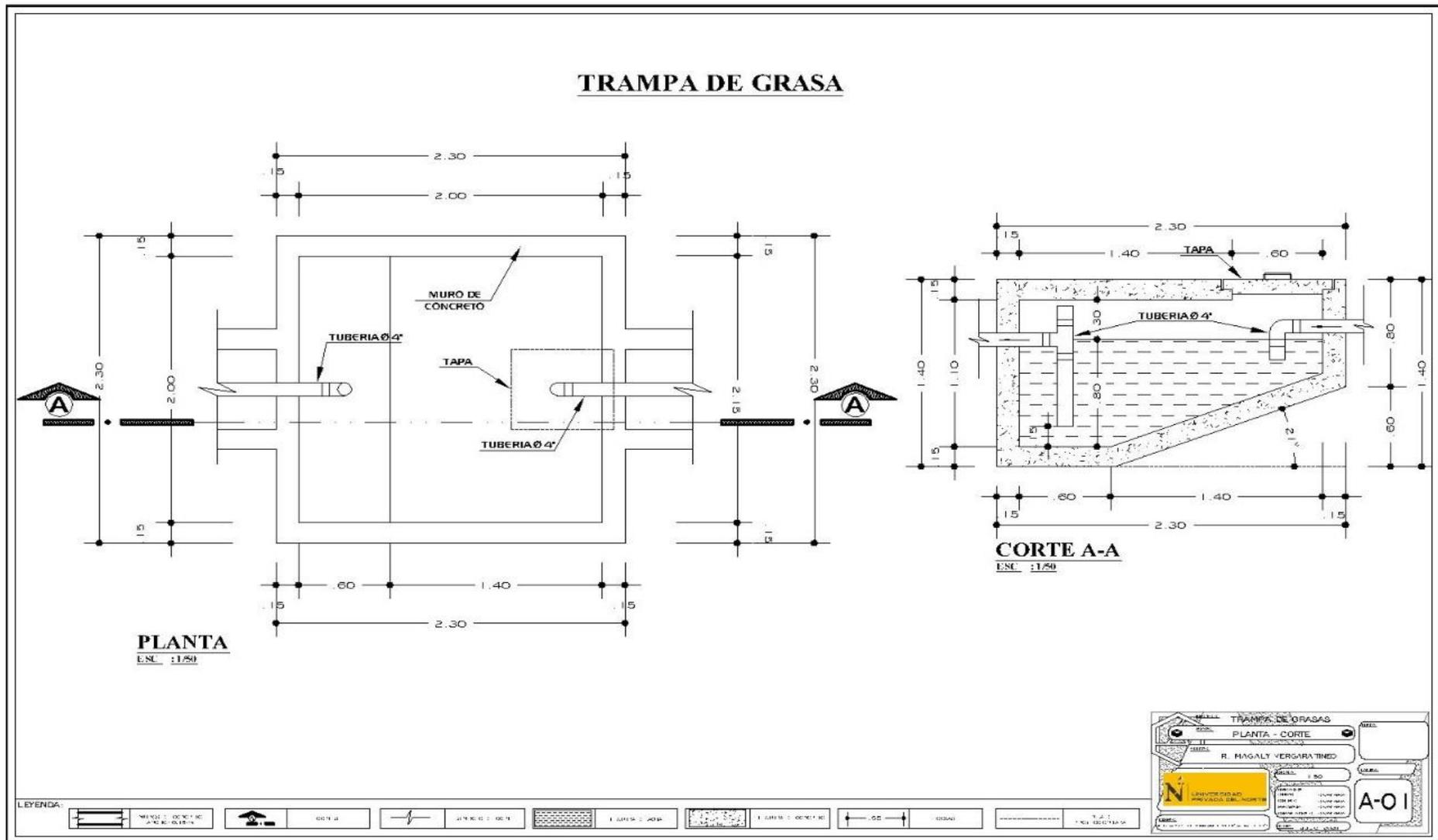
**ANEXO 4. Instrumento de Recolección de Datos. Ficha Resumen para Leyes Nacionales
sobre Tratamiento y Manejo de Aguas Residuales**

Ítem	Órgano Emisor	Nombre de la Ley	Artículo	Descripción del artículo
1	MINAM	Ley N° 28611 -Ley general del ambiente	31	Del estándar de calidad Ambiental. Reglamento sobre los EIA.
2	MINAM	Ley N° 27446 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental	5	Establecer nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua.
3	MINAM	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	Anexo	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas

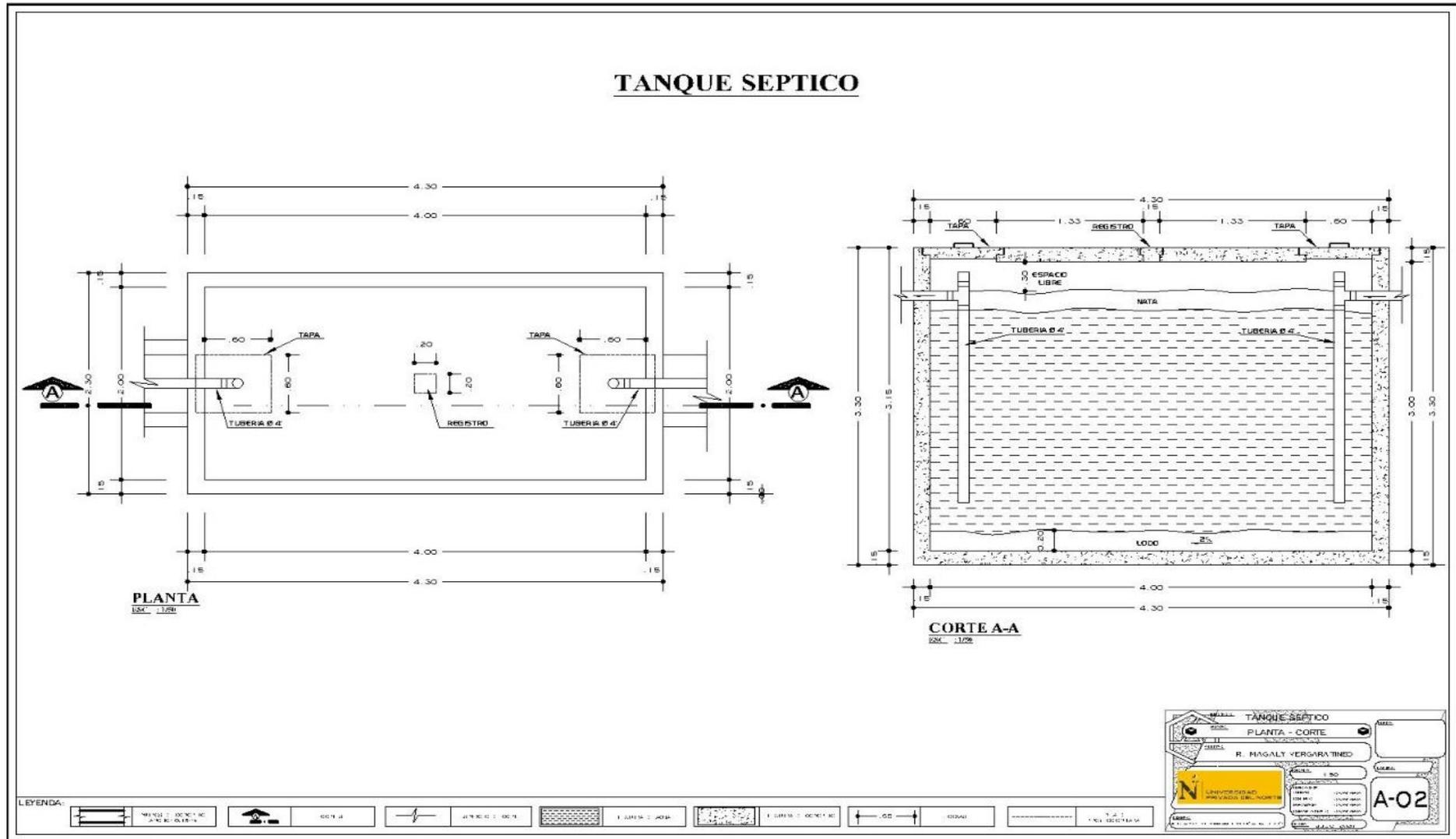
ANEXO 5. Instrumento de Recolección de Datos. Ficha Resumen de Ventajas y Desventajas de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales.

Ítem	Tipo de tecnología	Aplicación	Ventaja	Desventaja
1	Biofiltro de Lecho Fijo	Constan de un lecho empacado que se conoce como material filtrante y que puede ser sintético u orgánico, que sirve como soporte para los microorganismos y en el caso de los orgánicos como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano.	Bajos costos de inversión	Poco control sobre fenómenos de reacción
2	Biolavador	A diferencia de los biofiltros, en los biolavadores el compuesto a degradar primero es absorbido en la fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido. La operación consiste en hacer fluir el gas a contracorriente a través del líquido, donde los contaminantes y el O ₂ son absorbidos	Mejor control de la reacción	Altos costos de inversión, operación y mantenimiento
3	Biofiltro de Lecho Esgurrido	Estos sistemas se recomiendan para compuestos solubles en agua	Alta transferencia de oxígeno y del contaminante	Taponamiento por biomasa

ANEXO 6. Plano trampa de grasa, lamina A-01.



ANEXO 7. Plano de tanque séptico, lamina A-02



ANEXO 8. Plano de tanque séptico, lamina A-03.

